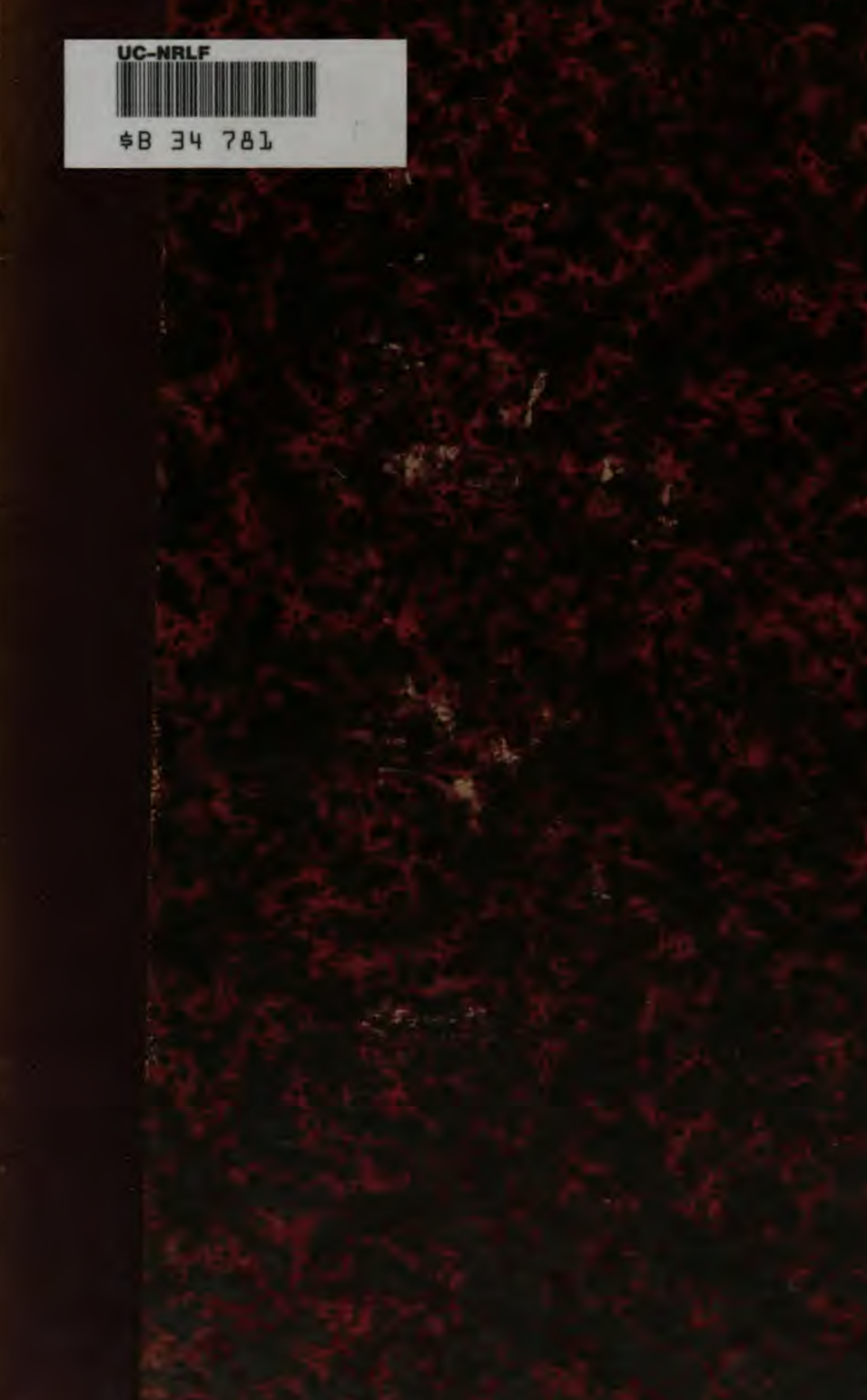
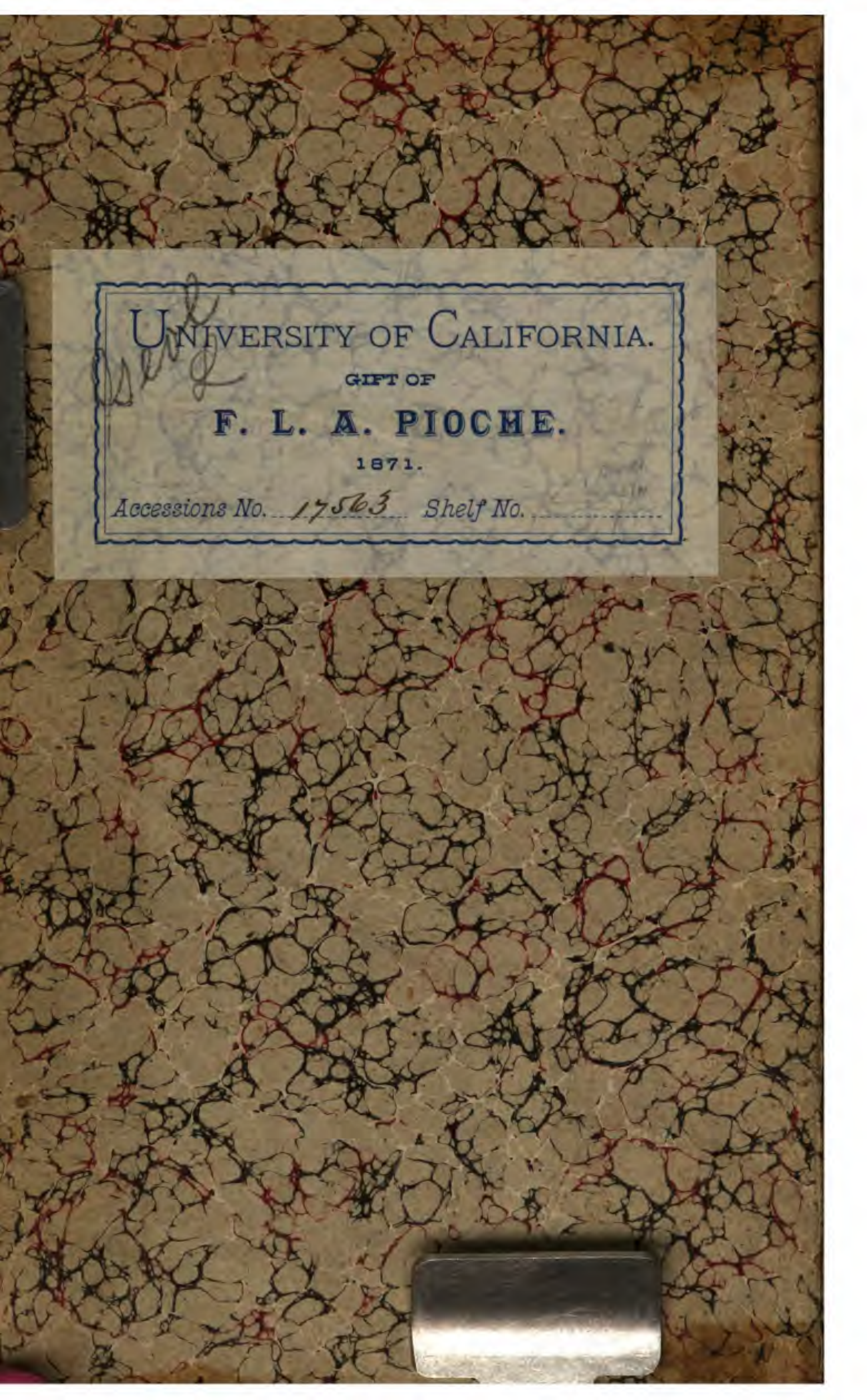
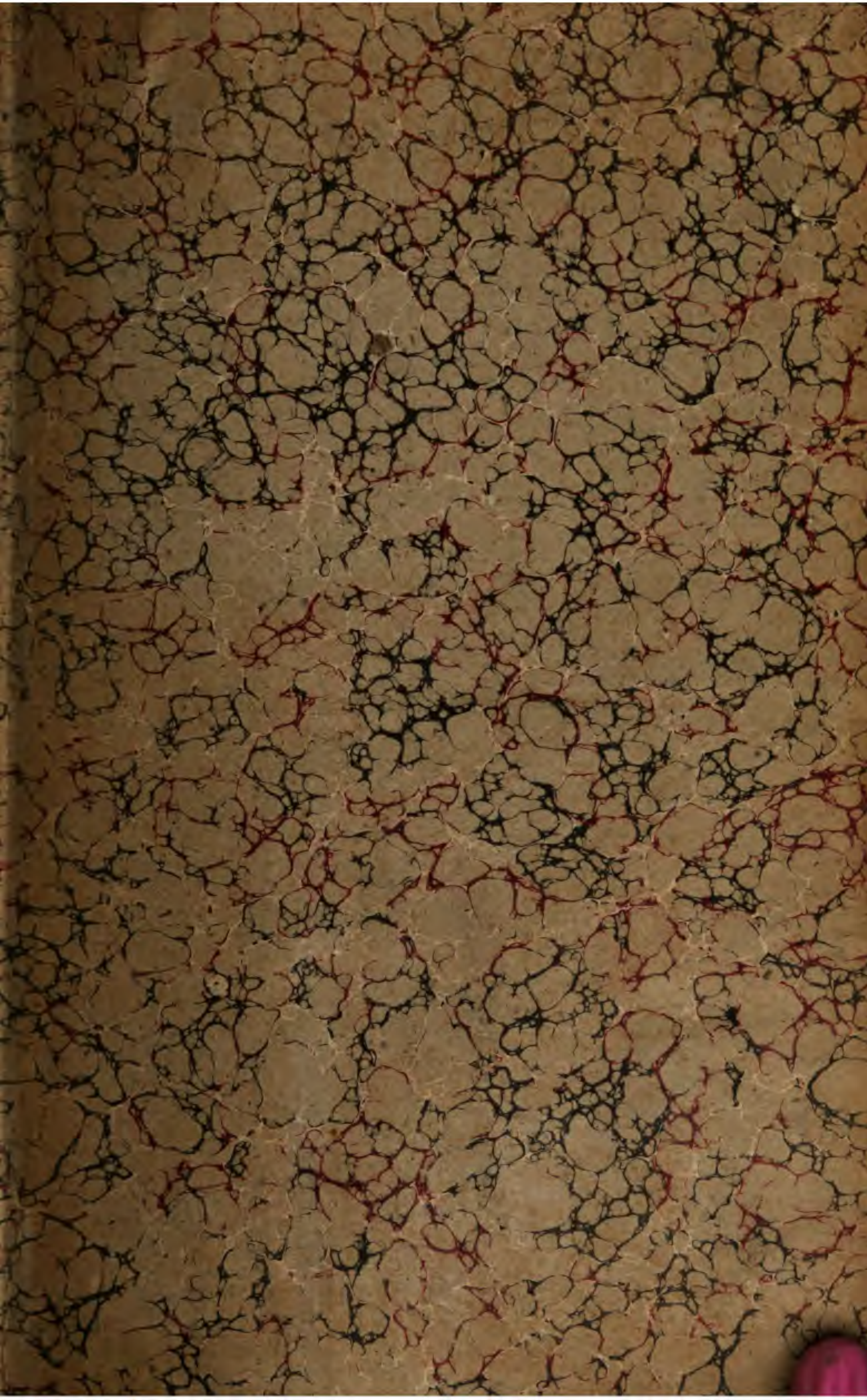






tei

pa 2 vols

OUVRAGE DU MÊME AUTEUR PUBLIÉ A LA MÊME LIBRAIRIE.

Principes de Géologie, ou Illustrations de cette science empruntées aux changements modernes que la terre et ses habitants ont subis; par CH. LYELL, *esq.*, ouvrage traduit de l'anglais sur la 6e édition, et sous les auspices de M. Arago, par madame *Tullia Meulien*. 4 forts vol. in-12, ornés de cartes coloriées, de vignettes sur acier et de gravures sur bois, cartonnés en toile anglaise. Chaque volume se vend................ 7 fr. 50 c.

Les PRINCIPES sont divisés en quatre parties parfaitement distinctes, formant un nombre égal de volumes.

La première renferme d'abord une esquisse historique de la science, où l'auteur passe en revue les principaux écrivains, tant anciens que modernes, qui ont traité de Cosmogonie ou de Géologie; viennent ensuite des considérations sur le système controversé des *causes actuelles*, dont M. Lyell est un des plus ardents et des plus habiles défenseurs.

La deuxième partie offre l'exposition des *causes aqueuses* et de tous les faits dus à ces causes; elle contient, en outre, les différents chapitres dans lesquels l'auteur a traité de l'*enfouissement des fossiles* dans les terrains où la présence de ces corps est d'un si grand secours pour l'étude de la géologie.

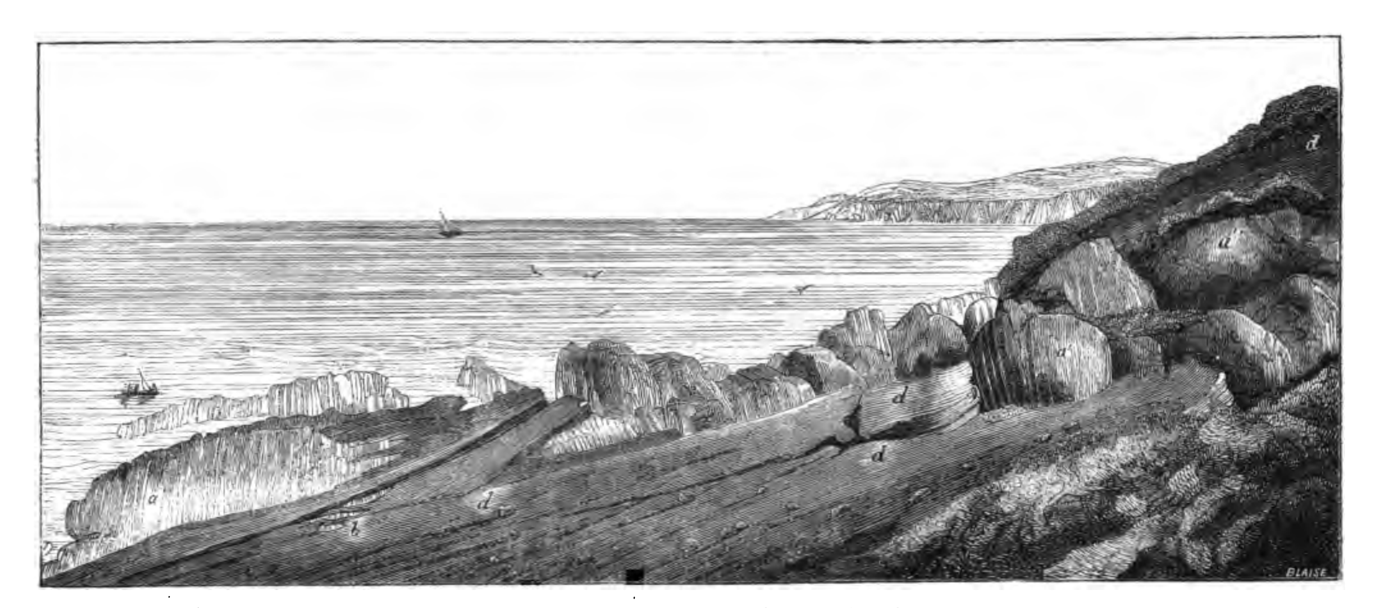
La troisième partie comprend tout ce qui se rattache aux *causes ignées*: elle traite, entre autres, des phénomènes à la fois si imposants et si terribles des *volcans* et des *tremblements de terre*.

Enfin, la quatrième embrasse toutes les grandes questions relatives à l'*origine*, à l'*existence* et à l'*extinction* des espèces.

Les PRINCIPES DE GÉOLOGIE diffèrent essentiellement du MANUEL DE GÉOLOGIE ÉLÉMENTAIRE. Ces deux ouvrages ont chacun un but très distinct. Les PRINCIPES envisagent principalement les *causes actuelles* et les *changements modernes que notre globe a subis*; le MANUEL expose les *changements anciens* de la terre et de ses habitants, et développe les *éléments* de la science.

Le lecteur peut commencer indistinctement par l'un ou par l'autre de ces ouvrages, mais ils lui sont tous deux indispensables pour acquérir une connaissance complète de la Géologie.

Paris. — Imprimerie de L. MARTINET, rue Mignon, 2.



Couches de grès rouge, légèrement inclinées, reposant sur un schiste vertical, à Siccar-point, près de Saint-Abb's Head, B erwickshire.

a. Schiste silurien vertical.
a', *a''*. Le même, présentant les plans des couches, avec une surface ondulée.
b. Petite ouverture dans les lits fracturés du Vieux Grès Rouge, ouverture par laquelle font saillie les branches du schiste vertical plus ancien.
d. *d*. Vieux Grès Rouge en couches légèrement inclinées.

MANUEL

DE

GÉOLOGIE ÉLÉMENTAIRE

OU CHANGEMENTS ANCIENS

DE LA TERRE ET DE SES HABITANTS,

TELS QU'ILS SONT REPRÉSENTÉS PAR LES MONUMENTS GÉOLOGIQUES ;

Par sir CHARLES LYELL,

Membre de la Société Royale de Londres, auteur des *Principes de Géologie*, etc.

Traduit de l'anglais sur la cinquième édition,

AVEC LE CONSENTEMENT ET LE CONCOURS DE L'AUTEUR,

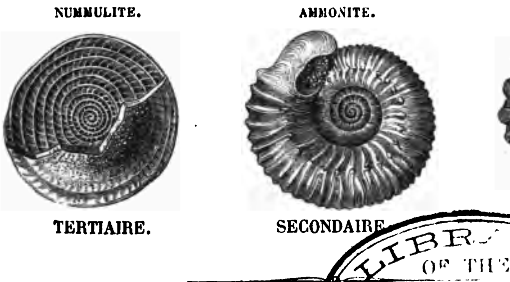
Par M. HUGARD,

Aide de minéralogie au Muséum d'histoire naturelle,
Ancien secrétaire de la Société Géologique de France, etc.

CINQUIÈME ÉDITION

Considérablement augmentée et illustrée de 750 gravures sur bois.

NUMMULITE. AMMONITE. TRILOBITE.





TERTIAIRE. SECONDAIRE. PRIMAIRE.

PARIS

LANGLOIS ET LECLERCQ, ÉDITEURS

RUE DES MATHURINS-SAINT-JACQUES, 10.

1856.

A L'AUTEUR

M. CHARLES LYELL,

ESQUIRE.

A vous,

Géologue illustre, dont les travaux ont si puissamment contribué aux progrès de la Science Inorganique ; à vous le premier hommage et la dédicace d'un livre qui doit enseigner à la jeunesse studieuse française vos idées, votre méthode judicieuse, votre savante doctrine !

En acceptant la tâche d'interpréter votre œuvre, j'ai craint d'avoir entrepris un travail au-dessus de mes forces ; aussi, renonçant à transporter dans notre langue cette phrase originale qui, dans l'idiome anglais, coule si naturellement de votre plume élégante, me suis-je borné à reproduire fidèlement votre pensée, et à lui conserver surtout cette clarté qui distingue éminemment votre style.

Mes efforts seront largement récompensés si vous leur accordez votre approbation.

HUGARD.

Paris, 15 avril 1856.

PRÉFACE DE LA CINQUIÈME ÉDITION.

Il s'est écoulé déjà près de cinq ans depuis la publication de la dernière édition de ce Manuel. Pendant cet intervalle, la science de la Géologie a fait des progrès rapides; il devenait donc utile d'exposer les faits et opinions nouvelles, et d'apprécier leur valeur relativement aux connaissances antérieurement acquises. Dans mes efforts pour mettre ce Traité en harmonie avec l'état actuel de la science, j'ai ajouté plus de 200 nouvelles illustrations et 230 pages de texte; si ces additions étaient imprimées séparément et sous une forme moins condensée, elles constitueraient à elles seules tout un volume (1). Il serait oiseux de détailler ici toutes les corrections, les changements et les augmentations qui ont été introduits dans cette nouvelle édition; mais pour mettre le lecteur des éditions antérieures à même de s'en faire une idée, j'en signale les plus importants dans le sommaire suivant.

Additions et modifications principales dans la cinquième édition.

Chap. IX. — Le Tableau général des couches fossilifères, qui était placé à la fin du chapitre xxvii, est maintenant page 169; le géologue qui commence pourra ainsi s'habituer, dès le principe, à rapporter à ce tableau les nombreuses sous-divisions qu'il est aujourd'hui nécessaire d'établir dans les séries chronologiques des roches. Ce tableau a été augmenté d'une colonne d'équivalents étrangers, comprenant les noms et localités de quelques-unes des couches les mieux connues des autres pays, et de dates contemporaines à celles des formations de l'Angleterre.

(1) Les additions dont parle ici l'auteur établissent surtout la différence de la présente édition avec la quatrième ; cette différence sera plus grande encore avec la première édition, qui a été traduite par Mme Meulien, sous les auspices d'Arago, et qui, du reste, est depuis longtemps tout à fait épuisée.

(*Note du traducteur.*)

CHAP. XIV, XVI. — La classification des formations tertiaires a été rectifiée d'après de nouvelles connaissances que j'ai acquises pendant l'été de 1851, en France et en Belgique. Les résultats de ce voyage ont été publiés dans le *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 1852. Dans le cours de mes investigations, j'ai pu déterminer plus exactement les rapports entre le Crag d'Anvers et celui de Suffolk ; la place stratigraphique des lits du Bolderberg près Hasselt ; celle des couches du Limbourg ou de Kleyn Spawen ; enfin celle d'autres dépôts de Belgique et de France. Relativement à quelques-unes de ces couches, les questions si vivement controversées dans ces derniers temps, à savoir si certains groupes doivent être appelés Miocène Inférieur ou Éocène Supérieur, ont été discutées à fond.

Pendant l'hiver de 1852 j'ai eu l'occasion d'examiner la partie septentrionale de l'île de Wight, en société de mon regrettable ami le professeur Forbes, dont la science déplore la perte douloureuse; il me montra les découvertes qu'il venait de faire sur la véritable position de la série de Hampstead, série qu'il a reconnue comme l'équivalent des lits de Kleyn Spawen ou du Limbourg; il m'exposa ses nouvelles vues sur les rapports des différents membres de la série Éocène, entre les couches de Hempstead et celles de Bagshot.

La position assignée aux sables de Thanet par M. Prestwich qui les considère comme une formation Éocène inférieure aux lits de Woolwich, est discutée avec détail, et les rapports de l'Éocène Moyen et Inférieur de France aux différents dépôts de l'île de Wight et du Hampshire le sont également, mais plus loin. Dans les mêmes chapitres ont été introduites plusieurs figures de débris organiques caractéristiques qui n'avaient pas été données dans les éditions antérieures.

CHAP. XVII. — Lors de l'explication des couches Crétacées, j'ai pour la première fois indiqué la position du Calcaire Pisolitique en France, et celle d'autres formations intermédiaires, en Belgique, entre la Craie Blanche et les lits de Thanet.

Chap. XVIII. — Les lits du Weald, comprenant l'Argile Wealdienne et les Sables de Hastings, exclusivement au Purbeck, figurent dans ce chapitre, considérés pour la première fois comme appartenant au Groupe Crétacé Inférieur.

Chap. XIX. — Ce chapitre traite de la dénudation du Weald ou de la contrée située entre les Downs du Nord et du Sud; il a presque entièrement été rédigé à nouveau, et enrichi d'illustrations qui manquaient aux éditions précédentes. Plusieurs géologues ont visité de temps à autre ce pays en ces dernières années; ils ont découvert de nouveaux faits et se sont livrés à diverses conjectures sur l'époque probable, l'extension et les causes d'une aussi vaste production de roches. Je me suis efforcé de montrer combien avaient été nombreuses les périodes de dénudation, combien avaient duré quelques-unes d'entre elles, et combien aussi on a tort de désespérer de la solution du problème par un appel aux causes ordinaires, au lieu d'invoquer l'aide de catastrophes imaginaires et de paroxysmes violents.

Chap. XX, XXI. — Sur les couches comprises entre l'Oolite et le Lias inclusivement. Les lits du Purbeck ont été pour la première fois considérés comme le membre le plus supérieur de l'Oolite, conformément à l'opinion de feu le professeur E. Forbes. J'ai donné plusieurs nouvelles figures de fossiles caractéristiques des sous-divisions des trois membres du Purbeck, et j'ai mentionné la découverte faite, en 1854, d'un nouveau mammifère.

Des figures de fossiles de l'Oolite Supérieure, Moyenne et Inférieure, et du Lias, ont été également ajoutées à celles qui existaient primitivement.

Chap. XXII, XXIII. — Sur les formations Triasique et Permienne. Les différences consistent principalement en une augmentation de figures de débris organiques fossiles.

Chap. XXIV, XXV. — En traitant du groupe Carbonifère, j'ai mentionné les divisions aujourd'hui généralement adoptées dans la classification des couches de ce terrain en Angleterre, et j'ai ajouté de nouvelles figures de plantes fos-

siles pour expliquer entre autres les caractères botaniques des Calamites, Sternbergia et Trigonocarpon, ainsi que leurs rapports avec les Conifères. J'ai aussi discuté, en m'en référant aux opinions de plusieurs des botanistes vivants les plus éminents, le rang qu'il faut assigner aux Conifères dans le règne végétal, et la question de savoir si elles doivent occuper une position élevée ou inférieure parmi les plantes à fleurs; enfin j'ai fait ressortir la portée de ces considérations sur la théorie du développement progressif de l'organisation.

Les empreintes de gouttes de pluie sur les schistes houillers sont représentées par plusieurs figures ; elles indiquent la nature et l'humidité de l'atmosphère carbonifère. Pour la première fois aussi j'ai discuté les causes de la pureté d'un grand nombre de lits de houille et le temps qu'a dû réclamer l'accumulation de la matière solide de certains amas de combustible.

J'ai donné des figures de Crustacés et d'Insectes de la houille, et j'ai signalé la découverte de quelques nouveaux reptiles.

J'ai aussi parlé des causes de la rareté dans la houille des vertébrés et invertébrés respirant à l'air.

La division du même chapitre (chapitre XXV), qui traite du Calcaire de Montagne, a aussi été augmentée de figures de nouveaux fossiles, et entre autres de celles de coraux du terrain Paléozoïque qui doivent être distingués des fossiles analogues du type Néozoïque; j'ai ajouté également des gravures de plusieurs genres de coquilles qui ont conservé leurs couleurs primitives. J'ai signalé enfin les équivalents étrangers du Calcaire de Montagne.

Chap. XXVI. — En parlant du Vieux Grès Rouge ou Groupe Devonien, j'ai constaté l'existence d'un squelette de Reptile et les empreintes de pas d'un Chélonien dans la même série. De nouvelles plantes trouvées en Irlande, dans cette formation, ont été figurées ainsi que le Pterygotus ou grand Crustacé du Forsfarshire; enfin il a été traité de la division des séries Devoniennes supérieure, moyenne et inférieure

dans le Devon septentrional, des fossiles des mêmes séries et des équivalents des couches Devoniennes en Russie et aux États-Unis.

CHAP. XXVII. — La classification et la nomenclature des roches Siluriennes de la Grande-Bretagne, du continent Européen et du nord de l'Amérique, ainsi que la question de savoir si ces roches peuvent être séparées du Cambrien et par quels caractères paléontologiques elles peuvent l'être, sont discutées en détail dans ce chapitre.

Les rapports du Grès de Caradoc au Silurien Supérieur et Inférieur, tels qu'ils résultent des recherches modernes, l'épaisseur considérable du Llandeilo ou Silurien Inférieur dans les Galles, l'Obolus ou Grès à Ungulites de Saint-Pétersbourg et ses fossiles, les couches Siluriennes des États-Unis et leurs équivalents d'Angleterre, celles aussi du Canada, les découvertes de M. Barrande relatives aux métamorphoses des Trilobites du Silurien et du Cambrien, tous ces sujets sont plus largement traités que dans les éditions antérieures, ou même sont traités pour la première fois.

Les lits Cambriens au-dessous du Llandeilo, et leurs fossiles sont pareillement décrits tels qu'ils existent dans les Galles, en Irlande, en Bohême, en Suède, aux États-Unis, au Canada, et quelques-uns de leurs débris organiques particuliers sont figurés.

En dernier lieu, à la fin du chapitre, quelques remarques ont été faites sur l'absence des débris de poissons et d'autres vertébrés dans les dépôts qui se trouvent au-dessous du Silurien Supérieur, et, pour élucider ce sujet, j'ai dressé un tableau des dates de découvertes successives des différentes classes de Vertébrés Fossiles dans les roches de plus en plus anciennes ; ce tableau montre les progrès qui ont été accomplis dans le cours du dernier siècle et pendant l'intervalle des cinquante années précédentes, progrès qui ont repoussé successivement chaque classe vers des roches de plus en plus anciennes. L'importance des faits tant positifs que négatifs qui éclairent la doctrine du développement successif

cessaire d'expliquer à fond les bases différentes sur lesquelles reposent les deux publications. Les cinq premières éditions des *Principes* comprenaient un quatrième volume dans lequel était un exposé de géologie systématique, et où se trouvaient décrites les principales roches qui composent la croûte de la terre avec leurs débris organiques. Dans les éditions suivantes, ce quatrième volume fut supprimé; il avait été développé dès l'année 1838 en un traité séparé qui eut pour titre *Éléments de Géologie*. Ce traité fut d'abord réédité en 1842; il fut refondu et augmenté en 1851, et intitulé *Manuel de Géologie Élémentaire*. Une autre édition, la cinquième, fut publiée en 1852.

Bien que les deux traités aient rapport à la géologie, comme leurs titres l'indiquent, leur but est tout à fait différent : les *Principes* contiennent un aperçu des changements *modernes* de la terre et de ses habitants, tandis que le *Manuel* a rapport aux monuments des changements *anciens*. En séparant ces traités l'un de l'autre, je me suis efforcé de rendre chacun d'eux complet en particulier et indépendant de l'autre; mais si l'élève me demandait lequel des deux doit être lu le premier, je lui recommanderais de commencer par les *Principes*, pour procéder ainsi du connu à l'inconnu, et se pourvoir à l'avance de la clef qui lui servira à interpréter les phénomènes anciens du monde organique et du monde inorganique, en les comparant aux changements actuellement en voie de progrès.

On verra, en comparant le contenu des *Principes* avec les sommaires des chapitres du présent ouvrage, que les deux traités n'ont que très peu de points communs; or, pour répéter ce que j'ai déjà dit dans la préface des *Principes*, ils ont le même genre de connexion que la chimie avec la Philosophie Naturelle : chacun des sujets est subsidiaire de l'autre, et cependant les deux peuvent être considérés comme des divisions différentes de la science.

CHARLES LYELL.

53, Harley street, Londres, 22 février 1855.

MANUEL

DE

GÉOLOGIE ÉLÉMENTAIRE.

CHAPITRE PREMIER.

DES DIFFÉRENTES CLASSES DE ROCHES.

Définition de la géologie. — Formation successive de la croûte terrestre. — Classification des roches suivant leur origine et suivant leur âge. — Roches aqueuses. — Leur stratification et les fossiles qu'elles renferment. — Roches volcaniques avec ou sans cônes ni cratères. — Roches plutoniques; leurs rapports avec les roches volcaniques. — Roches métamorphiques; leur origine probable. — Du mot *primitif;* c'est improprement qu'on l'a appliqué aux formations cristallines. — Division générale de l'ouvrage.

Quelles sont les matières qui composent la terre, et comment ces matières sont-elles disposées? Telles sont les premières questions qui font l'objet de la géologie, science dont le nom dérive des mots grecs γῆ, *ge* (terre) et λόγος, *logos* (discours). Avant d'avoir acquis quelque expérience, on pourrait supposer que des recherches de cette nature concernent exclusivement le règne minéral et les diverses roches, sols et métaux qui se trouvent à la surface de la terre ou à ses différentes profondeurs ; mais en poursuivant l'investigation, on est bientôt conduit à examiner les changements successifs qui ont eu lieu dans l'état primitif du globe, et à étudier les causes qui ont produit ces changements ; et, chose plus singulière encore et plus inattendue, on se trouve bientôt entraîné à fouiller l'histoire de la création animée et des diverses tribus d'animaux et de plantes qui, à différentes époques, ont habité notre planète.

Personne n'ignore que les parties solides de la terre consistent en substances distinctes, telles que : argile, craie, sable, calcaire, charbon, schiste, granit, etc.; mais avant d'avoir observé, on s'imagine communément que toutes ces substances sont restées, dès le principe, telles que nous les voyons aujourd'hui, qu'elles ont été créées sous leur forme présente, et dans la position qu'elles occupent actuellement. Le géologue arrive bientôt à une conclusion différente, dès qu'il découvre que les parties extérieures de la terre ont acquis graduellement leur configuration et leur condition sous l'empire d'une grande variété de circonstances, et à des époques successives, pendant lesquelles des races distinctes d'êtres animés ont vécu sur la terre et dans les eaux, pour laisser ensuite leurs dépouilles au sein de la croûte terrestre.

On entend par *croûte terrestre* cette petite portion de l'extérieur de notre planète, qui est accessible à l'observation de l'homme, et sur laquelle nous pouvons raisonner d'après l'examen de sa surface ou des points qui en sont rapprochés. Nos raisonnements peuvent s'étendre jusqu'à une profondeur de plusieurs kilomètres, quinze ou seize peut-être, épaisseur à peine égale à la 400e partie de la distance de la surface au centre; mais bien que cette épaisseur soit insignifiante, si on la compare au diamètre entier du globe, elle est considérable encore relativement à l'homme et aux êtres organisés qui peuplent la terre. Le géologue peut donc tout à la fois admirer les vastes limites de son domaine, et reconnaître que non-seulement l'extérieur de la planète, mais la totalité de sa masse n'est qu'un atome au milieu des mondes innombrables qu'il est donné à l'astronome de contempler.

Les matières qui composent la croûte terrestre ne sont pas confusément mêlées; des masses minérales distinctes, nommées roches, occupent des espaces immenses et offrent un certain ordre dans leur disposition. La dénomination de *roches* s'applique indifféremment à toutes ces masses minérales, qu'elles soient molles ou qu'elles soient pierreuses; le

sable et l'argile sont compris sous cette dénomination, que l'on a même quelquefois appliquée à la tourbe. Nos plus anciens écrivains se sont efforcés d'éviter une expression qui offrait une telle infraction à notre langue : ils ont dit, en parlant des matières qui composent la terre, qu'elles consistent en roches et *sols*. Mais il y a souvent une transition si insensible de l'état mou et incohérent à l'état pierreux, que les géologues de tous les pays ont jugé indispensable de consacrer un mot pour désigner l'un et l'autre de ces deux états. On a en français le mot *roche*, en italien *rocca*, et en allemand *felsart*. Le commençant devra donc constamment se souvenir que le mot roche n'implique pas nécessairement une masse minérale présentant la condition de matière dure, c'est-à-dire pierreuse.

Le moyen le plus naturel et le plus convenable de classer les différentes roches qui composent la croûte de la terre, est de se rapporter d'abord à leur origine, puis ensuite à leur âge relatif. Je commencerai donc par expliquer brièvement comment on peut diviser les roches en quatre grandes classes, d'après leur origine différente et les causes diverses qui les ont produites.

Les deux premières divisions qui paraîtront d'abord les plus naturelles, comprennent les roches aqueuses et les roches volcaniques, c'est-à-dire les produits de l'action aqueuse, et ceux de l'action ignée agissant à la surface ou très près de la surface.

Roches aqueuses. — Les roches aqueuses, quelquefois nommées sédimentaires ou fossilifères, couvrent une plus grande portion de la surface de la terre que toutes les autres. Elles sont *stratifiées*, c'est-à-dire divisées en bandes distinctes ou strates. Le mot *stratum* (strate ou couche) signifie simplement un lit de toute espèce de matière répandue sur une surface donnée. On admet que les couches ont été généralement produites par l'action des eaux, d'après ce que l'on voit journellement se passer sous nos yeux, près de l'embouchure des rivières ou sur les continents, pendant les inonda-

tions temporaires : toutes les fois qu'un courant d'eau chargé de boue ou de sable se trouve ralenti dans sa course, par exemple lorsqu'il entre dans un lac ou dans la mer, ou bien lorsqu'il se répand sur une plaine, le sédiment qui était retenu en suspension par le mouvement de l'eau, tombe au fond par l'effet de son propre poids, et des lits de vase et de sable se déposent les uns sur les autres.

Lorsqu'on dessèche un lac qui a été alimenté par un petit ruisseau, on trouve fréquemment au fond une série de dépôts disposés avec une remarquable régularité l'un au-dessus de l'autre. Le supérieur sera peut-être une couche de tourbe ; au-dessous, on rencontrera une variété plus dense et plus solide de la même substance ; plus bas encore un lit de marne avec coquilles, alternant avec du sable ou de la tourbe ; puis d'autres lits de marne séparés par des bandes d'argile. Si l'on creuse un second puits, à quelque distance du premier et au travers de la même formation lacustre, on observera une série presque identique de lits, à de légères variations près ; quelques-unes des bandes de sable, d'argile ou de marne, manqueront ; une ou plusieurs de ces bandes se seront amincies pour faire place à d'autres ; ou bien quelquefois l'une des masses aura pris un grand développement en épaisseur, à l'exclusion des autres.

Le mot *formation* que j'ai employé ci-dessus exprime, en géologie, un ensemble de roches qui ont quelques caractères communs, soit d'origine, soit d'âge, soit de composition. C'est ainsi que nous disons : formations stratifiées et formations non stratifiées ; formations marines ou d'eau douce, aqueuses ou volcaniques, anciennes ou modernes, métallifères ou non métallifères.

Dans les estuaires des larges rivières, telles que le Gange et le Mississipi, on peut observer, à basses eaux, des phénomènes analogues à ceux des lacs desséchés que nous avons mentionnés ci-dessus ; mais ces phénomènes se développent alors sur une plus vaste échelle et sur une étendue de plusieurs centaines de kilomètres en longueur et en largeur.

Lorsque les inondations périodiques viennent à baisser, la rivière se creuse un lit jusqu'à une profondeur de plusieurs mètres, à travers des couches horizontales d'argile et de sable dont on peut étudier ensuite la tranche, exposée sous forme d'escarpements perpendiculaires. Ces couches varient dans leur composition minéralogique, leur couleur, la finesse ou la grossièreté des particules qui les composent ; quelques-unes sont accidentellement caractérisées par la présence de bois transportés. A la jonction de la rivière et de la mer, spécialement dans les lagunes qui sont presque séparées de l'Océan par des barres de sable, il se forme souvent des dépôts avec des coquilles d'eau saumâtre et des coquilles d'eau salée.

On connaît les débordements annuels du Nil, les dépôts fertiles de boue qu'ils laissent sur les plaines. Cette boue se stratifie, et la couche mince qui a été formée pendant une année diffère légèrement par la couleur de celle de l'année précédente ; on peut même l'en séparer comme on l'a remarqué dans des excavations faites au Caire et dans d'autres endroits (1).

Lorsque des lits de sable, d'argile et de marne, contenant des coquilles et des matières végétales, sont disposés d'une manière semblable dans l'intérieur de la terre, on leur assigne une origine commune, et plus on étudie minutieusement leurs caractères, plus on trouve que la ressemblance est exacte. Ainsi, à différentes hauteurs et profondeurs de la terre, souvent à une très grande distance de la mer, des lacs ou des rivières, on trouve des bancs de galets siliceux, calcaires, granitiques, etc., parfaitement semblables aux galets du bord de la mer ou au gravier du lit d'un torrent. Ces bancs de cailloux arrondis alternent fréquemment avec d'autres bancs qui sont formés de sable ou de sédiment fin, comme il est facile d'en observer dans le canal d'une rivière qui descend de montagnes bordant une côte ; pendant une cer-

(1) Voyez *Principes de géologie*, par l'auteur : Index, NIL, RIVIÈRES, etc.

taine saison, le courant a entraîné, dans sa course, du sable grossier et du gravier, tandis que dans une autre saison, lorsque les eaux sont devenues basses et moins rapides, il n'a charrié que du limon fin et du sable (1).

Si la disposition stratifiée et la forme arrondie des cailloux suffisent seules pour nous faire admettre que certaines roches ont été formées sous l'eau, cette opinion se trouve encore confirmée par les preuves distinctes et indépendantes que fournissent les fossiles répandus en si grande abondance dans la croûte terrestre. On appelle *fossile*, tout corps ou traces de l'existence du corps d'un animal ou d'un végétal quelconque qui a été enfoui dans la terre par des causes naturelles. On rencontre aujourd'hui, presque partout, dans les roches stratifiées, des restes d'animaux, surtout d'espèces aquatiques, et ces restes sont quelquefois tellement abondants dans le calcaire, qu'ils constituent la masse entière de la roche. Les plus fréquents sont les coquilles et les coraux ; ils sont souvent accompagnés d'os et de dents de poissons, de fragments de bois, d'empreintes de feuilles et d'autres substances organiques. On trouve au loin, dans les terres, des coquilles fossiles de la forme de celles qui abondent aujourd'hui dans la mer, près de sa surface ou à une grande profondeur. On en rencontre à toutes les hauteurs au-dessus du niveau de l'Océan ; on en a observé à des élévations de plus de 2400 mètres dans les Pyrénées, de 3000 mètres dans les Alpes, de 3900 mètres dans les Andes, et de 5400 mètres dans l'Himalaya (2).

Ces coquilles appartiennent la plupart à des testacés marins ; mais, comme en quelques endroits elles présentent exclusivement les formes caractéristiques des espèces propres aux lacs et aux rivières, on peut en conclure que quelques-unes des couches ont été déposées dans les profondeurs de

(1) Voyez page 30, fig. 7.

(2) Le capitaine R.-J. Strachey a trouvé des fossiles oolitiques à une hauteur de 5600 mètres environ, dans l'Himalaya.

la mer, tandis que les autres ont été formées dans les lacs ou dans les estuaires.

A l'époque où l'on commença à étudier la géologie, on pensait généralement que ces coquilles marines, et autres fossiles, étaient le résultat et la preuve du déluge de Noé; mais, depuis longtemps, ceux qui ont étudié avec soin les phénomènes, ont rejeté cette opinion. On peut supposer qu'une inondation passagère laisse çà et là derrière elle des monticules isolés de limon, de sable, de cailloux, confusément mêlés de coquilles; mais les couches qui contiennent des fossiles ne sont pas exclusivement superficielles et ne couvrent pas simplement la terre, elles constituent au contraire des masses entières de montagnes.

Les fossiles n'y sont pas non plus disséminés pêle-mêle, sans aucun rapport avec les habitudes originelles et la nature des êtres qu'ils représentent : on ne trouve guère, par exemple, associés ensemble, ceux qui ont vécu dans les eaux profondes et ceux qui ont vécu dans les eaux basses, les espèces côtières et celles qui s'éloignaient des bords, celles qui se plaisaient dans les eaux saumâtres et celles qui recherchaient les eaux salées.

Quelques écrivains modernes qui n'ignorent pas que les corps fossiles ne peuvent pas tous être rapportés au déluge, ont pensé que ces corps, ainsi que les couches dans lesquelles ils sont renfermés, pouvaient avoir été déposés dans le lit de l'Océan pendant la période qui s'est écoulée entre la création de l'homme et le déluge. Ils ont imaginé que le lit antédiluvien de l'Océan, après avoir été le réceptacle de plusieurs dépôts stratifiés, serait devenu, à l'époque du déluge, le continent que nous habitons, et que les anciens continents auraient été submergés et transformés en ce qui forme le lit actuel des mers. Cette hypothèse, quoiqu'elle soit préférable à la théorie diluvienne, puisqu'elle admet que toutes les couches fossilifères ont été successivement déposées par les eaux, est tout à fait insuffisante pour expliquer les révolutions répétées que la terre a subies; elle ne saurait non plus

rendre compte des indications qui, dans la plupart des pays, nous montrent les continents actuels émergés de l'Océan depuis bien plus de quatre mille ans. Nous fournirons dans la suite des preuves convaincantes de ces révolutions réitérées, et l'on verra que différents groupes de couches sédimentaires, de quelques centaines et même de quelques milliers de mètres d'épaisseur, ont été entassés les uns sur les autres sur la croûte de la terre, chacun d'eux contenant des animaux et des plantes fossiles d'espèces que l'on peut distinguer, pour la plupart, de celles qui existent encore aujourd'hui.

Quelques-unes de ces couches se composent presque entièrement de coraux, d'autres renferment des coquilles, d'autres des plantes transformées en charbon, d'autres enfin sont absolument dépourvues de fossiles. Dans telle série de couches, les espèces fossiles sont marines; dans telle autre, placée immédiatement au-dessus ou au-dessous, les espèces prouvent clairement que le dépôt a été formé dans un lac ou dans un estuaire d'eau saumâtre.

Quand l'élève aura examiné attentivement ces faits, il restera convaincu que le temps requis pour la formation des roches qui composent les continents actuels doit avoir été bien plus long que celui assigné par la théorie dont nous avons parlé; il sera convaincu de plus qu'aucune hypothèse de transformation universelle ou soudaine de la mer en continent ne peut rendre compte des phénomènes géologiques.

Cette grande classe de roches, quelque variables que soient celles-ci dans leur composition minérale, leur couleur, leur texture et leurs autres caractères, tant extérieurs qu'intérieurs, peut se grouper sous une seule et même origine. Toutes ont été formées sous l'eau de la même manière que les accumulations de sable, de boue, de galets, de bancs de coquilles, de coraux et de tant d'autres qui se développent encore de nos jours, et toutes sont caractérisées par la stratification ou par des fossiles, et souvent par les deux à la fois.

Roches volcaniques. — La division des roches que nous

devons ensuite examiner est celle des roches volcaniques, c'est-à-dire qui ont été produites près de la surface ou à la surface de la terre, soit à des époques reculées, soit dans les temps modernes, par l'action du feu ou de la chaleur souterraine. Ces roches, pour la plupart non stratifiées, sont dépourvues de fossiles. Elles sont plus limitées que les formations aqueuses, du moins quant à leur étendue horizontale. Au nombre des contrées de l'Europe où elles présentent des caractères auxquels on ne saurait se méprendre, je dois citer non-seulement la Sicile et le pays qui environne Naples, mais encore l'Auvergne, le Velay et le Vivarais (aujourd'hui les départements du Puy-de-Dôme, de la Haute-Loire et de l'Ardèche), au centre et vers le sud de la France. On compte, dans ces dernières régions, plusieurs centaines de petites montagnes coniques, ayant la forme des volcans modernes, et très souvent munies de cratères plus ou moins parfaits à leur sommet. Ces petites montagnes ou cônes se composent de lave, de sable et de cendres, semblables à ceux des volcans en activité. Des coulées de lave ont laissé parfois des traces visibles, depuis le sommet des cônes jusqu'au bas des vallées voisines, où elles ont obstrué les anciens canaux des rivières par des roches solides, de la même manière que certaines coulées de lave le font encore aujourd'hui en Islande; dans ces cas, les rivières se sont frayé un étroit passage au-dessous de la lave ou bien sur les côtés. Quoique ces volcans français n'aient donné aucun signe d'activité depuis les époques historiques, leurs formes n'en sont pas moins souvent parfaites. Quelques-uns cependant ressemblent à de vrais squelettes de volcans; les pluies et les torrents ont corrodé leurs flancs, emporté le sable et les scories, et n'ont laissé en place que les matières les plus dures et les plus solides. Par suite de cette érosion et des tremblements de terre qui ont mis à découvert leur structure interne, on aperçoit non-seulement des lits successifs et des masses de lave poreuse, de sable et de scories, mais encore des murs perpendiculaires, ou *dykes*, comme on les appelle, de roches volcaniques qui

ont pénétré au travers des autres roches. On observe de semblables dykes au Vésuve, à l'Etna et dans d'autres volcans actuellement en activité. Ils ont été formés par la pénétration de la matière fondue, poussée d'en haut ou d'en bas dans les fissures ouvertes ; ils traversent ordinairement des dépôts de *tuf volcanique*, substance produite par une sorte de pluie de cendres et de sable lancés de l'intérieur de la terre par l'explosion des gaz volcaniques.

Outre ces points particuliers de la France, on cite d'autres contrées comme le nord de l'Espagne, le sud de la Sicile, le territoire Toscan, les provinces basses du Rhin et la Hongrie, où l'on rencontre des volcans éteints qui conservent une forme conique et présentent des cratères avec coulées de lave.

On signale également en Angleterre, en Écosse, en Irlande et presque dans tous les pays de l'Europe, d'autres roches auxquelles on attribue une origine ignée, quoiqu'elles ne forment pas des monticules à cônes et cratères. Ainsi, il n'est pas douteux que la roche de Staffa et celle de la Chaussée des Géants, appelée basalte, soit volcanique, car elle ressemble, par sa structure et sa composition minéralogique, aux coulées de lave qui se sont échappées des cratères des volcans. Il existe aussi, dans diverses parties des îles de l'Angleterre, des roches basaltiques et ignées semblables, associées à des lits de *tuf* et qui forment des dykes pareils à ceux dont nous avons déjà parlé. La plupart des couches à travers lesquelles ces dykes ont percé sont ordinairement altérées au point de contact, comme si elles avaient été exposées à la chaleur d'une matière en fusion.

L'absence de cônes, de cratères et de coulées de lave superficielles, en Angleterre et dans plusieurs autres pays, doit être attribuée à ce que les éruptions ont été sous-marines ; il en a été d'elles comme d'un grand nombre de volcans qui, de nos jours, font éruption au fond de la mer. Mais nous traiterons plus amplement de cette matière dans les chapitres sur les roches ignées, chapitres dans lesquels

nous montrerons que si différentes formations sédimentaires qui contiennent chacune leurs fossiles caractéristiques, ont été déposées à des périodes successives, de même le sable et les scories volcaniques ont été lancés de l'intérieur de la terre, et les laves se sont répandues à sa surface ou sur le lit de la mer, ou bien ont injecté des fissures, à des époques également très différentes; de telle sorte que les roches ignées, aussi bien que les roches aqueuses, peuvent être classées, par séries chronologiques, en monuments destinés à jeter un grand jour sur la succession d'événements relatifs à l'histoire de la terre.

Roches plutoniques (*Granit*, etc.). — Nous avons établi l'existence de deux ordres distincts de masses minérales : les masses aqueuses et les masses volcaniques ; mais si nous examinons une portion considérable de continent, si surtout cette portion renferme une chaîne de hautes montagnes, nous ne tarderons pas à découvrir deux autres groupes de roches très distinctes de toutes celles que nous avons décrites, et que nous ne saurions assimiler ni aux dépôts qui s'accumulent aujourd'hui dans les lacs et dans les mers, ni à ceux qui doivent leur origine à une action volcanique. Les différents membres de ces deux divisions de roches se ressemblent en ce qu'ils sont cristallins au plus haut degré et dépourvus de débris organiques. On a donné le nom de *plutoniques* aux roches de la division qui comprend les granits et certains porphyres, roches qui, dans quelques-uns de leurs caractères, sont alliées de très près aux formations volcaniques. Les membres de l'autre division sont stratifiés et souvent schisteux ; ils ont été nommés par quelques auteurs *schistes cristallins*. Dans ce groupe sont compris le gneiss, le schiste micacé (ou micaschiste), le schiste amphibolique, le marbre statuaire, les espèces les plus fines d'ardoises employées dans la toiture, et d'autres roches que nous décrirons par la suite.

Comme on ne peut observer aujourd'hui, dans ce qui se forme à la surface de la terre, rien de strictement analogue à

ces produits cristallins, on se demande naturellement d'après quelle base il faudra les ranger dans un système de classification fondé sur l'origine des roches. Pour répondre à cette question, je ne saurais donner en peu de mots l'exposé du long enchaînement de faits et de raisonnements au moyen desquels les géologues sont parvenus à saisir l'analogie des roches en question avec celles qui se forment aujourd'hui à la surface de la terre. Néanmoins j'essaierai d'en exposer brièvement la conclusion. Les diverses espèces de granit qui constituent la famille plutonique sont, comme on le suppose, d'origine ignée ; mais on pense qu'elles ont été formées sous une grande pression, à une profondeur considérable dans la terre, ou, quelquefois peut-être, sous d'énormes masses d'eau qui les surmontaient. De même que la lave des volcans, elles ont dû être d'abord à l'état de fusion, se refroidir ensuite et cristalliser, mais avec une lenteur extrême, et dans des conditions très différentes de celles qui produisent le refroidissement des corps en plein air. Elles diffèrent donc des roches volcaniques, non-seulement par leur texture plus cristalline, mais encore par l'absence de tufs et de brèches, sortes de produits des éruptions qui ont eu lieu à la surface de la terre, ou sous les mers, mais à une profondeur peu considérable. Elles s'en distinguent également par l'absence de pores ou cavités cellulaires auxquelles donnent ordinairement lieu les gaz qui se trouvent renfermés dans la lave.

Quoique le granit ait souvent pénétré d'autres couches, il est cependant rare, si toutefois on l'a jamais observé, qu'il se trouve sur la surface de ces couches comme s'il y avait été déposé par les eaux. Mais, comme au contraire ce cas est constant pour les roches volcaniques, on a nommé celles-ci *couches sus-jacentes* (*overlying*, docteur Mac Culloch). M. Necker a proposé de nommer *couches sous-jacentes* (*underlying*) les granits, afin de désigner la forme contraire, sous laquelle ils se présentent invariablement.

Roches métamorphiques ou cristallines, stratifiées. — La quatrième et dernière grande division de roches comprend

les couches cristallines, les schistes appelés gneiss, micaschistes, schistes argileux, schistes chloritiques, le marbre et autres, dont l'origine est plus douteuse que celle des trois autres divisions. Ces roches ne contiennent ni galets, ni sable, ni scories, ni fragments angulaires ; elles ne contiennent non plus aucunes traces de corps organiques ; elles sont souvent aussi cristallines que le granit et elles se divisent en lits qui ressemblent, par leur forme et leur disposition, à ceux des formations sédimentaires ; elles sont donc stratifiées. Les lits sont souvent composés de substances qui varient par leur couleur, leur composition et leur épaisseur, comme nous le remarquons précisément dans les dépôts fossilifères stratifiés. D'après la théorie de Hutton, que j'adopte comme la plus probable et que j'expliquerai plus amplement ailleurs, les matériaux dont ces couches ont été primitivement formées se sont déposés dans l'eau sous la forme ordinaire de sédiment, mais elles ont été altérées plus tard si profondément par la chaleur souterraine, qu'elles ont acquis une nouvelle texture. Dans de certains cas, des couches fossilifères sont devenues parfaitement cristallines, de terreuses qu'elles étaient, et cela jusqu'à une distance de plus de 400 mètres de leur contact avec le granit. Dans d'autres cas, des pierres calcaires noirâtres, remplies de coquilles et de coraux, ont été converties en marbre blanc statuaire, et des argiles dures, contenant des débris de végétaux et autres, ont été transformées en micaschistes et en schistes amphiboliques, et tous vestiges des corps organiques ont été détruits.

Quoique nous ignorions jusqu'à un certain point la nature précise de l'influence qui a produit ces changements, il n'en est pas moins évident qu'il existe une certaine analogie entre cette influence et celle qui naît de la chaleur et des gaz volcaniques. On peut donc, à juste titre, appeler cette action *plutonique*, car elle semble s'être développée dans les régions même où les roches plutoniques ont pris naissance, et dans des conditions identiques de pression et de profondeur. On se demande si c'est l'eau chaude, la vapeur ou l'électricité

qui, pénétrant dans les masses stratifiées, ont produit la texture cristalline; mais il est évident que l'influence plutonique s'est fait sentir souvent à travers les masses stratifiées.

En me rendant à l'hypothèse dont j'ai parlé ci-dessus, j'ai proposé, dans la première édition des *Principes de géologie* (1833), le mot *métamorphique* pour désigner les couches altérées, expression dérivée de μετὰ, *meta* (*trans*), et μορφὴ, *morphe* (*forma*).

Nous avons donc à considérer, sous le rapport de leur origine, quatre grandes classes de roches : aqueuses, volcaniques, plutoniques et métamorphiques. Nous ferons voir, dans le cours de cet ouvrage, que les différents membres, dans chacune de ces quatre classes, datent de plusieurs époques successives. Toutes ont eu des produits contemporains, et toutes aussi se trouvent encore aujourd'hui en voie de formation sur une grande échelle. Il n'est pas vrai, comme on a pu le supposer autrefois, que tous les granits, ainsi que les couches cristallines ou métamorphiques, aient été produits les premiers, qu'ensuite se soient déposées sur les précédents les roches aqueuses et volcaniques, ce qui placerait ces dernières dans un rang secondaire d'ancienneté.

Cette idée erronée fut adoptée dans l'enfance de la science, alors que l'on considérait toutes les formations stratifiées ou non stratifiées, terreuses ou cristallines, avec ou sans fossiles, comme étant d'origine aqueuse. On supposait, à cette époque, que la fondation devait être plus ancienne que la partie supérieure de l'édifice : mais on découvrit plus tard que cette opinion n'était pas la déduction légitime des faits ; car les parties inférieures de la croûte terrestre ont été souvent modifiées et même entièrement changées sous l'influence des causes volcaniques, souterraines et autres, tandis que les formations supérieures n'ont été aucunement altérées. En d'autres termes, les destructions et les rénovations successives ont donné naissance à de nouvelles roches en dessous, tandis que celles qui étaient au-dessus, qu'elles fussent cristallines ou fossilifères, sont restées dans leur ancienne condition.

Même dans les villes telles que Venise et Amsterdam, on ne saurait admettre comme absolument vrai, que les parties supérieures de chaque édifice, construites en briques ou en marbre, soient plus modernes que les fondations sur lesquelles elles reposent; car celles-ci consistent souvent en pilotis qui peuvent avoir pourri et avoir été remplacés par d'autres, sans que le moindre dommage ait été causé aux bâtiments qu'ils soutiennent; pendant toute la durée des remplacements successifs des fondations, les parties supérieures des édifices ont pu n'exiger aucune réparation et avoir été constamment habitées. Il en est de même de la surface habitable du globe, relativement aux énormes masses de roches qui se trouvent immédiatement dessous; cette surface a pu rester la même pendant des siècles, tandis que les matériaux sous-jacents, à de grandes profondeurs, ont pu passer de l'état solide à un état fluide, puis se consolider de nouveau et finir par acquérir une texture nouvelle.

Toutes les roches cristallines peuvent, jusqu'à un certain point, être considérées comme appartenant à une même grande famille, qu'elles soient stratifiées ou non stratifiées, plutoniques ou métamorphiques; il conviendra donc souvent de les désigner toutes par un nom commun. Mais puisqu'il est maintenant démontré qu'elles sont d'époques différentes, et quelquefois même plus nouvelles que les couches appelées secondaires, les mots *primitif* et *primaire* qu'on leur donnait autrefois devront être abandonnés, car ils impliqueraient une contradiction manifeste. Il devient, par conséquent, indispensable de trouver un nom nouveau qui n'ait pas d'importance chronologique et qui, tout en étant applicable au granit comme au gneiss (aux roches plutoniques comme aux roches *altérées*), ait quelque rapport avec les caractères qui distinguent ces roches des produits volcaniques et *inaltérés*. J'ai proposé, dans les *Principes de géologie* (1re édit., vol. III), le mot *hypogène*, dérivé de ὑπὸ, *dessous*, et de γίνομαι, *être* ou *être né*. Ce mot signifie théoriquement que le granit, le gneiss et les autres formations cristallines sont semblables aux

roches *bas-formées*, ou roches qui n'ont pas acquis à la surface de la terre leur forme et leur structure présentes. Ces roches occupent la place la plus inférieure dans l'ordre de la superposition.

Dans certaines régions comme les Alpes, où l'on peut citer quelques masses de granit et de gneiss d'une date comparativement plus moderne que les autres, appartenant, par exemple, à la période que nous décrirons plus loin sous le nom de *tertiaire*, ces masses ne sont encore que des roches *sous-jacentes*. Elles ne reposent jamais sur des formations volcaniques ou trappéennes, ni sur des couches contenant des débris organiques. Elles sont donc *hypogènes*, car elles se trouvent *au-dessous* de toutes les autres.

D'après ce que nous venons de dire, le lecteur comprendra qu'on peut étudier chacune des quatre grandes classes de roches sous deux points de vue distincts : on peut d'abord les considérer simplement comme masses minérales, tirant leur origine de causes particulières, ayant une certaine composition, une forme et une position particulières dans la croûte terrestre, ou possédant d'autres caractères positifs et négatifs, tels que la présence ou l'absence de débris organiques. En second lieu, on peut voir dans les roches de chaque classe une grande série chronologique de monuments qui attestent une succession de faits dans l'histoire primitive du globe et des êtres vivants qui l'ont habité.

Je vais donc continuer à parler de chacune des familles de roches, d'abord sous le rapport de leurs caractères non chronologiques, et ensuite sous celui de leur succession aux diverses époques où elles ont été formées.

CHAPITRE II.

ROCHES AQUEUSES. — LEUR COMPOSITION ET LEURS FORMES DE STRATIFICATION.

Composition minérale des couches. — Roches arénacées. — Argileuses. — Calcaires. — Gypse. — Formes de stratification. — Horizontalité primitive. — Amincissements. — Structure diagonale. — Ondulations.

Pour suivre l'ordre que nous nous sommes tracé dans le chapitre précédent, nous allons commencer par examiner les couches aqueuses ou sédimentaires, qui sont pour la plupart distinctement stratifiées, et qui contiennent des fossiles. Nous devrons d'abord les étudier sous le rapport de leur composition minérale, de leur apparence extérieure, de leur position, de leur forme primitive, des dépôts organiques qu'elles contiennent et des autres caractères qui leur sont propres comme formations aqueuses : cet examen sera indépendant de leur âge; nous les présenterons ensuite chronologiquement, c'est-à-dire dans leurs rapports avec les périodes géologiques successives où elles ont été formées.

J'ai déjà donné un aperçu des motifs qui portent à croire que les roches stratifiées et fossilifères ont été primitivement déposées sous l'eau; mais, avant d'entrer dans un examen plus détaillé, il sera bon de dire quelques mots sur les matières ordinaires dont ces roches sont composées. On peut les partager en trois groupes : arénacées, argileuses et calcaires; le sable, ou l'argile, ou le carbonate de chaux dominant dans tel ou tel de ces groupes. Les masses sableuses ou arénacées se composent principalement de grains siliceux; les masses argileuses, d'un mélange de matière siliceuse avec une certaine proportion, environ un quart, de terre alumineuse; enfin les calcaires, autrement dits pierres à chaux, consistent en acide carbonique et en chaux.

Roches arénacées ou siliceuses. — Parlons d'abord de la division des sables. On rencontre souvent des lits dont les grains sont tous de silice ; la dénomination de silice s'applique à tous les minéraux purement siliceux, comme le quartz et le caillou commun. Le quartz n'est que de la silice dans son plus grand état de pureté. Le caillou ou pierre à feu contient un mélange d'alumine et d'oxyde de fer. Les grains siliceux qui composent le sable sont ordinairement arrondis comme par l'action de l'eau courante. Le grès est un assemblage de ces mêmes grains, souvent unis sans aucun ciment visible, mais plus communément liés par une faible quantité de matière calcaire ou siliceuse, du fer ou de l'argile.

Une roche siliceuse pure est facile à reconnaître, en ce qu'elle ne fait pas effervescence quand on verse à sa surface une goutte d'acide nitrique ou d'acide sulfurique ou de tout autre acide, et en ce que ses grains ne peuvent être séparés ou broyés sans une certaine pression. Dans la nature, il existe toute espèce de gradation entre le sable parfaitement meuble et le grès le plus dur. Dans les *grès micacés*, le mica se trouve en abondance, et les minces petites lames argentées qui divisent ce minéral sont souvent disposées en bandes parallèles aux plans de stratification, et donnent à la roche une texture schisteuse ou lamellaire.

Lorsque le grès est formé de gros grains, on l'appelle ordinairement *gravier* (*grit*). Si les grains sont arrondis et assez gros pour valoir le nom de galets, le grès devient un *conglomérat* ou *poudingue* qui peut être formé d'une ou de plusieurs espèces de roches. Un conglomérat, par conséquent, n'est qu'un gravier lié par un ciment.

Roches argileuses. — L'argile, strictement parlant, est un mélange d'environ un quart de silice avec une assez forte proportion d'alumine ou terre argileuse ; mais, dans le langage commun, toute terre qui possède assez de ductilité dans l'eau pour être modelée ou façonnée par le potier, reçoit le nom d'*argile*. Les argiles varient beaucoup dans leur composi-

tion, et ne sont généralement que de la vase provenant de la décomposition ou de la trituration des roches. L'argile la plus pure que l'on rencontre dans la nature est celle qui sert à fabriquer la porcelaine, ou *kaolin ;* elle provient de la décomposition d'une roche composée de feldspath et de quartz ; ce dernier minéral reste presque toujours mêlé au kaolin (1). Le schiste a, comme l'argile, la propriété de devenir plastique dans l'eau ; condensé par la pression, il a une consistance plus solide que l'argile ou que toute matière argileuse. Il se divise ordinairement en lames plus ou moins régulières.

L'un des caractères généraux de toutes les roches argileuses est de dégager une odeur terreuse particulière, quand on souffle dessus avec l'haleine ; c'est un signe de la présence de l'alumine, quoique cette odeur ne puisse être positivement attribuée à l'alumine pure, mais appartienne à la combinaison de cette substance avec l'oxyde de fer.

Roches calcaires. — Dans cette division, nous comprenons les roches qui, comme la craie, sont principalement composées de chaux et d'acide carbonique. Les coquilles et les coraux sont également formés des mêmes éléments, avec addition de matière animale. Pour obtenir de la chaux pure, il faut calciner les substances calcaires, c'est-à-dire les exposer à une chaleur suffisante pour en chasser l'acide carbonique et les autres matières volatiles. La craie blanche est souvent du carbonate de chaux pur. Cette roche, quoique ordinairement tendre et terreuse, est souvent assez solide pour être employée aux constructions ; elle passe même à l'état de pierre *compacte*, c'est-à-dire de pierre dont les parties composantes sont si ténues, que l'on ne saurait, à l'œil, les distinguer les unes des autres.

Grand nombre de calcaires sont entièrement formés de

(1) Le kaolin de Chine contient 71,15 parties de silice, 15,86 d'alumine, 1,92 de chaux et 6,73 d'eau (W. Phillips, *Mineralogy*, p. 33) ; mais les autres argiles à porcelaine diffèrent matériellement de la précédente : celle du Cornouailles est composée, selon Boase, de parties égales de silice et d'alumine, avec 1 pour 100 de magnésie. (*Philos. Mag.*, vol. X, 1837.)

fragments imperceptibles de coquilles et de coraux, ou bien de grains calcaires liés par un ciment. On pourrait appeler les calcaires de ce dernier genre *grès calcaires* ; mais cette dénomination convient mieux à une roche dont les grains sont en partie calcaires et en partie siliceux, ou à des grès quartzeux cimentés par le carbonate de chaux.

La variété de calcaire que l'on nomme *oolite* se compose de nombreux petits grains ovoïdes semblables à des œufs de poisson ; chacun de ces grains contient ordinairement, à son centre, un petit fragment de sable autour duquel des croûtes concentriques de matière calcaire se sont accumulées.

Tout calcaire assez dur pour recevoir un beau poli est appelé *marbre*. Un grand nombre de marbres sont fossilifères ; mais le marbre statuaire, que l'on nomme aussi calcaire saccharoïde parce que sa structure ressemble à celle du sucre, est dépourvu de fossiles, et passé, dans plusieurs cas, à la série métamorphique.

Le *calcaire siliceux* est un mélange intime de carbonate de chaux et de silice ; il est d'autant plus dur qu'il contient une plus forte proportion de matière siliceuse.

On peut s'assurer de la présence du carbonate de chaux dans une roche, en versant à la surface une petite goutte d'acide sulfurique ou nitrique, ou muriatique, ou même de vinaigre fort ; la chaux ayant une plus grande affinité chimique pour chacun de ces acides que pour l'acide carbonique, s'en empare immédiatement pour former de nouveaux composés, tels que sulfate, ou nitrate, ou muriate de chaux. L'acide carbonique, une fois séparé de la chaux, s'échappe sous forme de gaz et fait effervescence par le dégagement de petites bulles au travers du liquide. Cette effervescence est vive ou faible, suivant le degré de pureté ou de mélange du calcaire, ou, pour m'exprimer en d'autres termes, suivant la quantité de matière étrangère qui se trouve mêlée au carbonate de chaux. Sans cet essai, l'œil le plus exercé ne pourrait pas toujours reconnaître la présence du carbonate de chaux dans les roches.

Les trois classes de roches ci-dessus mentionnées, siliceuses, argileuses ou calcaires, passent constamment de l'une à l'autre et se rencontrent rarement dans un état de séparation parfaite ou de forme pure. C'est par une exception à la règle générale, que l'on rencontre un calcaire aussi pur que la craie blanche ordinaire, ou une argile aussi exclusivement alumineuse que celle que l'on emploie dans le Cornouailles pour la fabrication de la porcelaine, ou du sable aussi complétement composé de grains siliceux que le sable blanc d'Alum-Bay, dans l'île de Wight, ou un grès aussi quartzeux que le grès de Fontainebleau. Le plus souvent, nous trouvons le sable et l'argile, ou l'argile et la marne, mélangés dans la même masse. Lorsque le sable et l'argile dominent à la fois dans une roche, on appelle ce mélange *limon*. S'il y a beaucoup de matière calcaire dans l'argile, on l'appelle *marne*, mais malheureusement on a employé d'une manière si vague cette expression, qu'elle est devenue parfois très ambiguë. On l'a appliquée aux substances dans lesquelles il n'y a pas de chaux, comme à ce limon rouge que l'on nomme marne rouge dans certaines parties de l'Angleterre. Les agriculteurs ont l'habitude de donner le nom de marne à tout sol qui, de même que la véritable marne, tombe en poussière quand on l'expose à l'air. De là vient la confusion dans l'emploi de ce mot pour désigner les sols formés de limon et faciles à travailler à la charrue, quoique dépourvus de chaux.

Le *schiste marneux* est à la marne ce que le schiste est à l'argile ; c'est un schiste calcaire. Il est abondant dans certains pays, surtout dans les Alpes de la Suisse. Le calcaire argileux ou marneux est également fort commun.

Je ne sache pas qu'il existe dans la composition des couches sédimentaires d'autres roches assez importantes pour qu'il soit nécessaire de nous arrêter ici sur leurs caractères. Je dois cependant en mentionner encore deux : le calcaire magnésien ou dolomie, et le gypse. Le *calcaire magnésien* est composé de carbonate de chaux et de carbonate de ma-

gnésie ; la proportion de ce dernier élément est, dans quelques cas, de près de la moitié. Le calcaire magnésien fait une effervescence bien plus lente et plus faible dans les acides que le calcaire ordinaire. En Angleterre, il est généralement de couleur jaunâtre, mais il varie beaucoup quant à ses caractères minéralogiques : il passe successivement de l'état terreux à l'état compacte, en acquérant une grande dureté. La *dolomie*, si commune dans plusieurs parties de l'Allemagne et de la France, est aussi une variété de calcaire magnésien qui présente ordinairement une texture grenue.

Gypse. — Le gypse est une roche composée d'acide sulfurique, de chaux et d'eau. Il est habituellement tendre, d'un blanc jaunâtre et d'une texture semblable à celle du sucre ; mais il est aussi quelquefois entièrement composé de cristaux lenticulaires. Il est insoluble dans les acides et ne fait pas effervescence comme la craie ou la dolomie, car il ne contient pas de gaz acide carbonique ou air fixe, la chaux s'y trouvant déjà combinée avec l'acide sulfurique pour lequel elle a encore plus d'affinité que pour aucun autre acide. Le gypse anhydre est une variété rare, dans laquelle l'eau n'entre pas comme partie constituante. La marne gypseuse est un mélange de gypse et de marne. L'albâtre est une variété de gypse, grenue ou compacte, qui se trouve en masses assez considérables dans la nature pour être employées dans la sculpture et dans l'architecture. L'albâtre se présente quelquefois sous la forme d'une substance pure et blanche comme la neige, par exemple à Volterra, en Toscane. C'est à cet état qu'on le travaille en objets d'art à Florence et à Livourne. L'albâtre est moins dur que le marbre et plus facile à travailler.

Formes de stratification. — Une série de couches se compose d'une, de deux, et parfois d'un plus grand nombre des roches précédentes alternant par lits.

Ainsi, dans les districts houillers d'Angleterre, il n'est pas rare de compter toute une série de lits de grès, les uns d'un grain plus fin, les autres d'un grain plus grossier, quelques-uns de couleur blanche, d'autres de couleur noirâtre, etc.,

et, sous ces lits, d'autres lits de schiste et de grès qui se divisent en feuillets et contiennent de belles empreintes de plantes. Puis on découvre des couches de charbon pur ou impur, alternant avec d'autres schistes et d'autres grès, et, au-dessous du tout, se trouvent peut-être des lits calcaires remplis de coraux et de coquilles marines, chaque lit restant distinct l'un de l'autre par certains fossiles ou par l'abondance d'espèces particulières de coquilles ou de zoophytes.

Cette alternance de différentes espèces de roches produit la stratification la plus distincte; dans une série de plusieurs centaines de couches, on rencontre souvent des lits de calcaire et de marne, de conglomérat et de grès, de sable et d'argile, qui reviennent plusieurs fois, dans un ordre presque régulier. Les causes qui peuvent avoir produit ces phénomènes sont diverses; je les ai discutées à fond dans mon *Traité des changements modernes qui ont eu lieu sur la surface de la terre* (1). On voit, dans les chapitres qui ont trait à ce sujet, que les rivières qui se jettent dans les lacs et dans les mers sont chargées de sédiments variables en quantité, en composition, en couleur et en grain selon les saisons; leurs eaux sont, en de certains temps, abondantes et rapides, en d'autres temps basses et tranquilles; leurs divers tributaires inondent des contrées et des sols différents, et se chargent conséquemment de sédiments particuliers suivant les époques. J'ai également démontré que les flots de la mer et les courants creusent et minent les falaises pendant les orages de l'hiver, et entraînent au fond des eaux les matières qu'ils ont arrachées; tandis que, pendant la saison tranquille, les mouvements de l'Océan ne précipitent que la boue la plus fine.

Il n'entre pas dans le but de cet ouvrage de donner une description détaillée de ces actions qui se sont répétées d'année en année et de siècle en siècle, comme elles le font

(1) Consultez l'Index aux *Principes de géologie* : STRATIFICATION, COURANTS, DELTAS, EAU, etc.

encore aujourd'hui ; mais je puis donner une explication de la manière dont se sont formés certains grès micacés, ceux, par exemple, dans lesquels on aperçoit d'innombrables et minces feuillets de mica qui séparent d'autres feuillets de sable fin quartzeux. J'ai observé cette même disposition de matières dans la vase récemment déposée dans la baie de la Roche-Saint-Bernard, en Bretagne, à l'embouchure de la Loire. Les roches environnantes sont de gneiss ; elles alimentent la vase qui consiste en argile brune feuilletée, divisée par de petites veines de mica. On peut, par une expérience très simple, se rendre compte de la séparation du mica dans ces cas et dans celui des grès. Si l'on jette dans le courant d'un ruisseau clair et limpide une poignée de sable quartzeux mélangé de mica, on voit aussitôt un départ des matières s'opérer par l'eau : les grains de quartz iront presque immédiatement au fond, tandis que les feuilles de mica mettront plus de temps pour y arriver et seront entraînées plus loin dans le courant. Au premier moment, l'eau sera trouble, mais bientôt les surfaces planes des feuilles de mica apparaîtront en réflétant une lumière argentée, puis descendront lentement pour aller former au fond un lit de lames micacées très distinctes. Le mica est le plus lourd des deux minéraux, mais il reste plus longtemps suspendu sur le fluide, à cause de la plus grande étendue de surface qu'il présente. Il devient donc facile de reconnaître que là où la vase sera soumise aux mouvements d'une rivière ou de la marée, les feuilles de mica seront entraînées plus loin et ne se déposeront pas dans les mêmes endroits que les grains de quartz ; et, puisque la force et la rapidité du courant varient de temps à autre, des couches de mica et de sable seront successivement apportées sur le même fond.

Horizontalité primitive. — On admet généralement que les surfaces supérieure et inférieure des couches, ou *plans de stratification*, sont parallèles. Quoique cette assertion ne soit pas exactement vraie, les plans approchent toutefois du parallélisme, par la raison que le sédiment a ordinairement été

déposé en lits à peu près horizontaux. On ne saurait attribuer la cause de cette disposition à un nivellement, ni à une horizontalité primitive du lit de la mer, car on sait que, dans les endroits où aucune matière adventice n'a été déposée, le fond de la mer est aussi inégal que la surface de la terre, et présente, comme elle, des montagnes, des vallées et des ravins. Cependant, si la mer venait à baisser, ou l'eau à se retirer près de l'embouchure d'une grande rivière où un delta aurait primitivement existé, nous verrions de vastes plaines de vase et de sable laissées à sec, et qui, à l'œil, apparaîtraient parfaitement unies, quoique, en réalité, elles inclineraient doucement de la terre vers la mer.

La tendance qu'ont les couches nouvellement formées à prendre une position horizontale, vient principalement du mouvement de l'eau, qui oblige les particules de sable ou de boue à se précipiter, et à se fixer dans des cavités où elles sont moins exposées à la violence des courants que lorsqu'elles étaient sur des points élevés. La vélocité du courant et le mouvement des vagues diminuent d'intensité à mesure que l'on descend, et ils sont à leur minimum dans les endroits où l'eau est la plus profonde.

On peut observer quelquefois de bons exemples du phénomène que nous venons de signaler dans le voisinage d'un volcan où une section soit naturelle, soit artificielle, a été produite ; elle laisse apercevoir une succession de bandes diverses de sable et de cendres de différentes couleurs, qui sont tombées en pluie sur un sol inégal. Supposons que A, B (fig. 1) aient été deux élévations séparées par une vallée ; ces inégalités primitives de la surface ont graduellement disparu sous des lits de sable et de cendres, *c*, *d*, *e*; la surface *e* est aujourd'hui parfaitement unie. Quoique les matières des premières bandes se soient disposées de manière à s'adapter à peu près à la forme du sol A, B, on voit cependant que chacune d'elles est plus épaisse vers le fond. Une grande

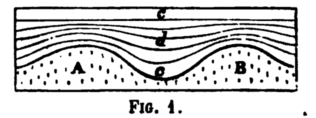


FIG. 1.

quantité de particules ont été entraînées d'abord par leur propre poids au bas des pentes A et B, et d'autres ensuite ont été emportées par le vent à mesure qu'elles tombaient du sommet, et se sont logées dans les cavités ; aussi ces cavités ont-elles été de plus en plus effacées à mesure que les couches se sont accumulées de *c* à *e*. On rendrait peut-être plus claire l'explication qui précède en supposant un certain nombre de tranchées parallèles, ouvertes d'abord dans une plaine de sable mouvant, telle que le désert d'Afrique, et dont le vent aurait ensuite fait disparaître jusqu'aux moindres vestiges, en rétablissant la surface aussi unie qu'elle l'était auparavant.

L'eau peut, dans son mouvement, exercer sur de semblables matières son action de nivellement plus facilement que l'air, car la plupart des pierres perdent dans l'eau plus d'un tiers du poids qu'elles avaient dans l'air ; la pesanteur spécifique des roches étant en général comme 2 1/2, comparée à celle de l'eau prise pour unité. Mais la légèreté du sable ou de la vase est encore plus grande dans la mer, car la densité de l'eau salée excède celle de l'eau douce.

Quelque uniforme et horizontale que puisse être en général la surface des dépôts nouvellement formés, il existe pourtant encore bien des causes désorganisatrices : tels sont

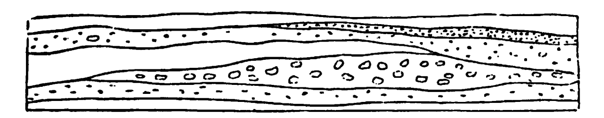


FIG. 2. — Coupe de couches de grès, de grès grossier et de conglomérat.

les remous et les courants qui se meuvent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, et qui ne laissent pas que de faire naître de fréquentes irrégularités. On peut quelquefois suivre un lit de calcaire, de schiste ou de grès sur une distance continue de quelques centaines de mètres, mais on finit presque toujours par trouver que chaque couche en particulier s'amincit de plus en plus, et permet à d'autres couches qui étaient primitivement au-dessus et au-dessous de son

niveau de se rencontrer et de se joindre. Si les matières qui les composent sont dures, comme dans les grès et les conglomérats, les mêmes lits ne peuvent continuer sur une longueur de quelques mètres sans qu'ils varient dans leurs dimensions, et souvent ils se terminent brusquement (fig. 2).

Stratification diagonale ou croisée. — Il est aussi un autre phénomène qui se renouvelle fréquemment : on rencontre des séries de couches composées chacune en particulier d'un certain nombre de feuillets (fig. 3) dirigés obliquement aux plans généraux de la stratification. On a donné

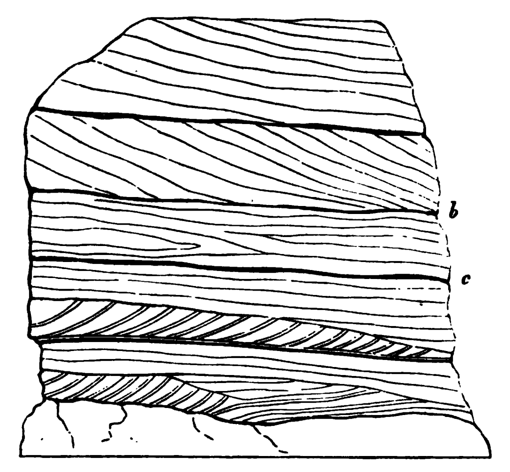


FIG. 3. — Coupe de sable à Sandy Hill, près de Biggleswade, Bedfordshire. Hauteur : 6 mètres. (Formation de Grès vert.)

à cette disposition diagonale le nom de *stratification fausse* ou *croisée*. Ainsi, dans la coupe (fig. 3), on voit sept ou huit grandes couches de sable meuble, jaune et brun ; les lignes *a*, *b*, *c*, désignent quelques-uns des plans de stratification qui sont presque horizontaux. La plus grande partie des lames subordonnées à ces couches ne sont pas conformes à leurs plans, mais souvent inclinées, et leur inclinaison est quelquefois dirigée vers tous les points de la boussole. Lorsque le sable est meuble et incohérent, comme dans le cas que nous représentons ici, la déviation des lames interférentes

ne saurait être expliquée par aucune sorte d'arrangement nouveau opéré pendant la consolidation de la roche.

Comment donc ces sortes d'irrégularités peuvent-elles être attribuées à la déposition primitive ? Il faut supposer qu'au

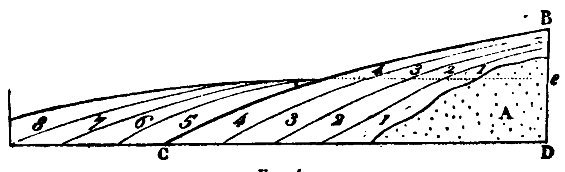


Fig. 4.

fond de la mer, aussi bien que dans le lit des rivières, les mouvements des vagues, des courants et des remous font que souvent le limon, le sable et le gravier s'accumulent en monticules, sur des points isolés, au lieu de se répandre uniformément sur une large surface. Quelquefois, après que des bancs ont été ainsi formés, des courants se fraient un passage au travers de leur masse, de la même manière qu'une rivière creuse son lit. Admettons que le banc A (fig. 4) ait eu une origine semblable, qu'il présente l'un de ses côtés abrupt, et que, pendant une période de tranquillité des eaux, la couche de sédiment nº 1 se soit déposée à sa surface en se conformant à peu près à son relief ; les autres couches 2, 3, 4, pourront ensuite se déposer successivement sur les précédentes de manière à produire le banc BCD. Si le courant vient alors à augmenter de vitesse, il emportera la portion supérieure de cette masse, suivant la ligne ponctuée *e*, et en déposera les matériaux plus loin sous la forme

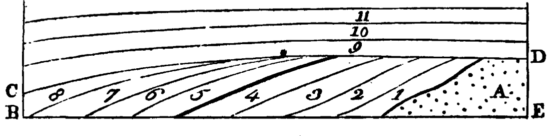


Fig. 5.

des couches 5, 6, 7, 8. On aura donc un banc BCDE (fig. 5), dont la surface sera presque unie et sur lequel pourront, en dernier lieu, s'accumuler les couches presque horizontales 9, 10, 11.

Nous avons fait voir, par la figure 3, que les feuillets transgressifs des couches successives peuvent quelquefois présenter entre eux une inclinaison opposée. On observe de très bons exemples de cette structure dans quelques falaises composées de sable meuble, sur la côte de Suffolk. J'ai représenté une portion de l'une de ces falaises (fig. 6) : les feuillets, composés de grains quartzeux, ont à peine 4 à 5 millimètres d'épaisseur. Cette disposition doit être attribuée aux changements de direction de la marée et des courants qui sont survenus sur un même point.

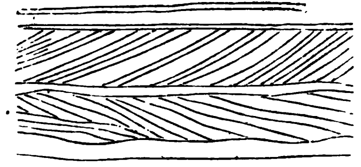


FIG. 6. — Rocher entre Mismer et Dunwich.

La description que nous avons donnée ci-dessus de la disposition oblique des petits lits dans chacune des couches est, dans de certains cas, applicable sur une plus grande échelle à des masses d'une épaisseur de plusieurs centaines de mètres et d'une étendue de plusieurs kilomètres. On peut en voir un bel exemple à la base des Alpes maritimes, près de Nice. Les montagnes s'y terminent d'une manière si abrupte dans la mer, que souvent la sonde porte jusqu'à une profondeur de plusieurs centaines de brasses, à la simple distance d'une portée de fusil du rivage, et quelquefois jusqu'à une profondeur de 900 mètres, à une distance de 800 mètres. Mais, sur certains points, entre le rivage et la montagne, on rencontre des couches de sable, de marne ou de conglomérat, comme on le voit dans la figure 7 qui représente une vaste succession de lits obliques de gravier et de sable, tracée de la mer au Monte Calvo, distance de plus de 14 kilomètres en droite ligne. Ces lits plongent toujours vers le sud ou vers la Méditerranée, sous un angle d'environ 25°. Ils sont coupés par des précipices verticaux de 70 à 180 mètres de haut, qui entourent la vallée au travers de laquelle coule la rivière Magnan. Bien que d'une manière générale, les couches paraissent parallèles et uniformes, cependant, exami-

nées plus attentivement, elles sont en réalité sous forme de coins et s'amincissent à tel point, lorsqu'on les suit sur une longueur de plusieurs centaines de mètres, qu'on peut supposer qu'elles ont été primitivement déposées sur un bord

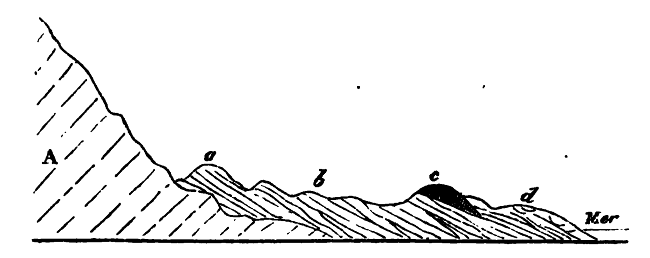


FIG. 7. — Coupe de Monte Calvo à la mer, par la vallée de Magnan, près de Nice.

A. Dolomie et grès (formation de Grès vert ?).
a, *b*, *d*. Couches de gravier et de sable.
c. Marne fine et sable de Sainte-Madeleine, avec coquilles marines.

escarpé où se déchargeait une rivière ou un torrent alpin, dans une mer profonde et tranquille, formant ainsi un delta qui avançait graduellement de la base du Monte Calvo jusqu'à une distance de 14 kilomètres du rivage primitif. Lorsque plus tard eut lieu l'exhaussement de cette partie des Alpes et du lit de la mer jusqu'à une hauteur de 200 mètres, la côte dut prendre sa configuration actuelle, le delta dut émerger, et un lit profond y fut creusé par une rivière.

Il est notoire pour tout le monde que les torrents et les ruisseaux qui, aujourd'hui, descendent des pentes des Alpes vers la mer, entraînent avec eux annuellement, lorsque les neiges fondent, une énorme quantité de galets et de sable ; à mesure qu'ils baissent ensuite, ils transportent un limon fin, et, pendant l'été, ces torrents et ruisseaux sont presque entièrement ou même entièrement à sec : on peut dès lors admettre, sans crainte de se tromper, que des dépôts semblables à ceux de la vallée de Magnan, consistant en gravier grossier et alternant avec des sédiments fins, sont encore en voie de formation sur plusieurs points, tels qu'à l'embouchure du Var. Ils doivent avancer sur la Méditerranée sous

forme de bas-fonds se terminant par un talus escarpé ; car tel est le mode primitif d'accumulation de toutes les matières grossières rassemblées dans l'eau profonde, surtout si elles sont composées en grande partie de cailloux roulés qui ne sauraient être transportés à des distances indéfinies par des courants de moyenne vitesse. Par défaut d'attention des faits, on a exagéré de beaucoup la profondeur supposée de l'ancien Océan ; on ne saurait douter, par exemple, que les couches *a* (fig. 7) ou les autres plus rapprochées du Monte Calvo ne soient plus anciennes que celles indiquées par la lettre *b*, et que celles-ci, à leur tour, n'aient été formées avant *c* ; mais, sur aucun point, on ne trouve une épaisseur s'élevant même à 300 mètres ; il se peut qu'il y ait des épaisseurs plus considérables, néanmoins elles ne dépasseront probablement nulle part 900 ou 1200 mètres. Toutefois, quand on songe que toutes les couches furent jadis horizontales, et que leur inclinaison actuelle doit être attribuée à des mouvements subséquents, on est forcé de conclure qu'en cet endroit la mer a été profonde de 14 kilomètres et qu'elle a été comblée par des lits alternatifs de limon et de cailloux déposés les uns sur les autres.

Dans la localité dont il est ici question, et qui est située à quelques kilomètres à l'ouest de Nice, il y a différents points géologiques à considérer, mais dont les détails ne sauraient être donnés ici ; tous conduisent à l'opinion que, pendant la période de formation du dépôt de Magnan, la forme et la configuration des pentes des Alpes, ainsi que celles de la plage elle-même, ressemblaient beaucoup à la forme et à la configuration que l'on remarque encore aujourd'hui, sur plusieurs points, dans le voisinage. La date comparativement récente des lits *a*, *b*, *c*, *d*, est démontrée par ce fait que, dans les lits de marne argileuse, intercalés entre les lits à cailloux roulés, il existe des coquilles fossiles dont la moitié appartiennent à des espèces vivant actuellement dans la Méditerranée.

Ondulations. — Les inégalités ondulatoires, si fréquentes à la surface des grès des différentes époques (fig. 8), et que

l'on observe si souvent, à la marée, sur les bords de la mer, paraissent devoir leur origine à un mode particulier de trans-

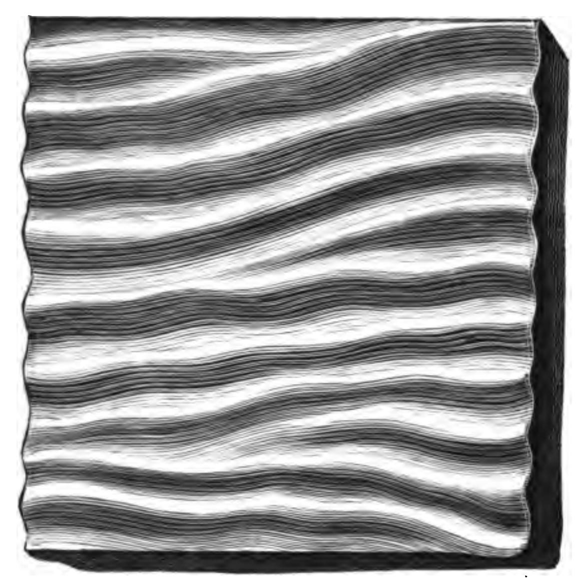


FIG. 8. — Plaque ondulée de grès (nouveau grès rouge) du Cheshire.

port des matières sur le fond de l'eau, transport exactement semblable à celui par lequel nous avons expliqué ci-dessus les feuillets inclinés.

Les ondulations ne sont pas exclusivement limitées à la plage exposée à la marée ; il s'en produit également sur les sables qui sont submergés d'une manière permanente. On observe aussi quelquefois des rides et dépressions ondulatoires à la surface de la neige ou du sable qui ont été balayés par le vent. J'ai été témoin moi-même de la manière dont le mouvement de l'air peut produire de semblables effets : c'était à la marée basse, sur une plage vaste et unie, aux environs de Calais. Des nuages d'un sable blanc et fin, chassés par le vent des dunes voisines, venaient couvrir le rivage et blanchir une surface unie et obscure de limon sableux, et cette nouvelle enveloppe de sable était magnifiquement ondulée. Je nivelai toutes les petites élévations et dépressions de cette

surface, sur une étendue de plusieurs mètres carrés; mais je les vis se renouveler complétement en moins de dix minutes: la direction générale des saillies était toujours perpendiculaire à celle du vent. Le rétablissement des inégalités commençait par l'apparition, çà et là, de petits amas détachés de sable, qui bientôt s'allongeaient, se joignaient les uns aux autres, et finissaient par former de longues saillies avec dépressions correspondantes. Dans chaque saillie, l'un des côtés était légèrement incliné et l'autre escarpé. Le côté opposé au vent était dans ce dernier cas, *bc*, *de;* le côté tourné vers le vent présentait une pente très douce, comme *ab*, *cd* (fig. 9). Lorsqu'une bouffée de vent venait à souffler avec une force suffisante pour transporter sur la surface

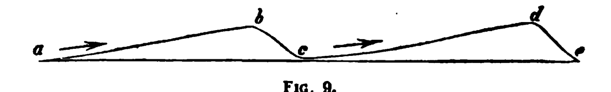


FIG. 9.

ondulée un nuage de sable, on voyait toutes les saillies se mouvoir à la fois, chacune empiétant sur le sillon suivant, et, dans l'espace de quelques minutes, remplissant la place que ce sillon avait occupée. La progression avait lieu par le transport continu de grains de sable sur les pentes *ab* et *cd*. Grand nombre de ces grains, lorsqu'ils arrivaient en *b* et en *d*, tombaient par les escarpements *bc* et *de*, et se trouvaient dès lors à l'abri du vent; ils restaient donc stationnaires, s'arrêtant chacun suivant leur forme ou leur poids, sur tel ou tel point de la pente, et quelques-uns seulement roulant jusqu'au fond. On voyait ainsi distinctement chaque saillie se mouvoir lentement chaque fois que la force du vent augmentait. Quelquefois une portion de saillie, avançant plus rapidement que le reste, atteignait une autre saillie immédiatement antérieure, et se confondait avec elle, donnant ainsi naissance à ces bifurcations et branches qui sont si communes, et dont on voit deux exemples dans la plaque représentée figure 8. On peut observer des configurations de ce genre sur les grès de toutes les époques, et, de même que

les ondulations qui se forment de nos jours sur les bords de la mer, les ondulations produites aux anciens temps peuvent présenter deux systèmes d'inégalités, interférant l'un avec l'autre : l'un, plus ancien et à demi-effacé, et un autre plus nouveau, dans lequel les saillies et dépressions sont plus distinctes et dirigées différemment. Ce croisement des deux systèmes d'ondulations résulte d'un changement de vent et d'une direction nouvelle imprimée à la vague.

Les ondulations indiquent ordinairement un bord de mer ou de rivière, profond seulement de 1 à 3 mètres, car l'agitation produite par les ondes, même pendant la tempête, ne s'étend qu'à une très petite profondeur. Cette règle, toutefois, souffre quelques exceptions, et des ondulations ont été observées récemment à une profondeur de 18 à 20 mètres. On a aussi constaté que des courants ou d'importantes masses d'eau pouvaient, dans leur mouvement, agir sur la vase et le sable à la profondeur de 90 ou même de 140 mètres (1). On peut toutefois, dans la plupart des cas, distinguer une ondulation de rivage d'une ondulation de courant, par les fréquents changements que la première présente dans la direction. Dans une plaque de grès, qui n'a pas plus de 4 centimètres d'épaisseur, on observe souvent les élévations ou dépressions d'une ancienne ondulation sur plusieurs plaques successives, dirigées vers différents points de l'horizon.

(1) *Edinb. new philos. Journ.*, vol. XXXI ; et Darwin, *Volc. Islands*, p. 134.

CHAPITRE III.

DISTRIBUTION DES FOSSILES DANS LES COUCHES. — FOSSILES D'EAU DOUCE ET FOSSILES MARINS.

Succession des dépôts indiquée par les fossiles. — Calcaires formés de coraux et de coquilles. — Preuves de l'accroissement graduel des couches, fournies par les fossiles. — Serpule adhérant à un Spatangue. — Bois percés par la Térédine. — Tripoli et résinite formés d'Infusoires. — Craie résultant principalement des corps organiques. — Distinction entre les formations d'eau douce et les formations marines. — Genres de coquilles d'eau douce et de coquilles terrestres. — Manière de reconnaître les testacés marins. — Gyrogonite et Chara. — Poissons d'eau douce. — Alternance des dépôts marins et des dépôts d'eau douce. — Lym-Fiord.

Nous avons examiné, dans le chapitre précédent, les différentes formes de stratification déterminées par la disposition des matières inorganiques; nous devons maintenant tourner notre attention vers le mode de distribution des débris organiques dans les dépôts stratifiés. Il nous serait souvent impossible de découvrir aucune trace de stratification ou de dépôts successifs, si certains genres de fossiles ne se rencontraient çà et là à diverses profondeurs. A tel niveau, par exemple, on trouvera spécialement une ou plusieurs espèces de coquilles univalves ; à tel autre niveau, des coquilles bivalves ; sur un autre point, des coraux ; enfin, dans certaines formations, on observera des feuillets de matières végétales, provenant habituellement de plantes terrestres, et séparant les couches.

Un commençant aura de la peine à s'expliquer comment des montagnes de plusieurs milliers de mètres d'élévation se trouvent remplies de fossiles depuis la base jusqu'au sommet, mais la difficulté disparaîtra lorsqu'il réfléchira sur l'origine de la stratification, telle que nous l'avons expliquée dans le chapitre précédent, et lorsqu'il aura admis un espace

de temps suffisant pour l'accumulation des sédiments. L'élève ne doit jamais perdre de vue ce fait, que, pendant la durée de l'opération du dépôt, chaque couche a été successivement la couche supérieure, et couverte, sans intermédiaire, par l'eau dans laquelle vivaient des animaux aquatiques. Chaque couche, aussi éloignée qu'on la suppose aujourd'hui de la surface, a donc formé jadis le fond de la mer à l'état de galets, de sable meuble ou de limon, dans lesquels des coquilles et d'autres corps organisés ont pu facilement être enfouis.

En tenant compte de la nature des débris organiques, on parvient souvent à reconnaître si le dépôt a été lent ou rapide, s'il s'est fait dans une mer profonde ou dans une mer basse, près de la côte ou loin des terres, et si l'eau était salée, saumâtre, ou douce. Certains calcaires sont composés presque entièrement de coraux, et, dans plusieurs cas, il est évident que la position actuelle de chaque zoophyte fossile a été déterminée par son mode de croissance originelle. L'axe du corail, par exemple, si le développement de ce zoophyte a dû avoir lieu dans le sens vertical, se dirige encore aujourd'hui perpendiculairement au plan de stratification; si la couche est actuellement horizontale, les têtes sphériques de certaines espèces seront tournées vers le haut et leurs points d'attache vers le bas. Cette disposition se répète quelquefois à travers une longue série de couches. D'après ce que nous connaissons du mode de croissance de zoophytes semblables dans les récifs actuels, il nous est permis de penser que le développement des zoophytes anciens s'est fait d'une manière extrêmement lente, et que quelques-uns ont dû vivre des siècles, comme les arbres des forêts, avant d'atteindre une taille considérable. Or, pendant ce temps, l'eau a dû rester claire et transparente, car les coraux n'auraient pu vivre dans une eau trouble.

De même, lorsque nous voyons des milliers de coquilles à l'état parfait de développement, répandues à travers une longue série de couches, nous ne saurions douter qu'il n'ait fallu un temps considérable pour la multiplication de leurs

générations successives; la lenteur de l'accumulation devient plus évidente encore par la présence si souvent constatée de corps fossiles qui sont restés, pendant un certain temps après leur mort, exposés sur le fond de l'Océan avant d'être enveloppés par les sédiments. Rien n'est plus commun, par exemple, que de rencontrer, dans l'argile, des huîtres fossiles avec des Serpules, Balanes, coraux, ou autres corps, adhérant à l'intérieur des valves, fait qui démontre avec certitude que le mollusque n'a point été enfoui dans la vase argileuse dès le moment de sa mort. Un certain temps a dû s'écouler, pendant lequel il a continué d'être entouré d'eau claire; et, durant ce temps, les animaux qui y adhèrent aujourd'hui se sont développés, en passant de l'état d'embryon à l'état parfait d'accroissement.

Des coquilles adhérentes seulement à l'extérieur, comme les Serpules *a* (fig. 10), ont pu croître sur une huître ou sur le test de tout autre mollusque, pendant que l'animal vivait encore; mais celles qui adhèrent à l'intérieur des valves n'ont pu se fixer à cette place qu'après la mort de l'habitant de la coquille qui leur a servi de support. Ainsi, dans la figure 10, deux Serpules ont crû à l'intérieur; l'une d'elles, exactement à la place où était fixé le muscle adducteur de la Gryphée (sorte d'huître).



FIG. 10.—Gryphée fossile, couverte extérieurement et intérieurement de Serpules fossiles.

Certaines coquilles fossiles, celles même qui adhèrent simplement à la surface extérieure d'autres coquilles, confirment pleinement la conclusion à laquelle nous sommes déjà arrivé ci-dessus, savoir : qu'un intervalle de temps a

dû s'écouler entre la mort de l'animal et l'enfouissement de son enveloppe à laquelle adhèrent les coquilles. Les Oursins de mer (*Echini*), si nombreux dans la craie, en fournissent un excellent exemple. On sait qu'à l'état vivant, ces animaux sont invariablement couverts de suçoirs ou tubes gélatineux nommés *ambulacres*, qui leur servent d'organes de locomotion. Ils sont, en outre, armés de piquants que supportent des rangées de tubercules, mais on n'aperçoit ces derniers organes qu'après la mort de l'animal, lorsque les piquants ont été détachés. Dans la figure 12, on



Fig. 11.— Serpule fixée à un Spatangue fossile de la craie.



Fig. 12.— Spatangue récent, avec les piquants enlevés sur l'une des moitiés.

b. Piquants et tubercules, grandeur naturelle.

a, Les mêmes, grossis.

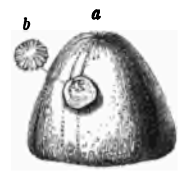


Fig. 13. — *a*. *Echinus* de la craie, avec la valve inférieure d'une Cranie qui lui est adhérente.

b. Valve supérieure de la Cranie, détachée.

a représenté une espèce vivante de *Spatangus*, commune sur nos côtes, avec l'une des moitiés de sa coquille dépouillée des piquants. Dans la figure 11, un fossile du même genre, provenant de la craie blanche d'Angleterre, montre la nature de l'enveloppe chez les individus de cette famille, lorsque sa surface est également dépouillée des piquants. La Serpule, à l'état complet de développement, que l'on voit aujourd'hui adhérer à cette enveloppe, n'a donc pu commencer à croître avant que le Spatangue ait été mort, et que ses piquants aient été entraînés.

Mais on peut pénétrer plus loin encore dans la série des événements que nous révèle ici la nature d'un simple fossile. Par exemple, on rencontre souvent, dans la craie, des Oursins (fig. 13) à la surface desquels adhère la valve inférieure d'une Cranie, genre de mollusque bivalve. La valve supérieure *b* manque presque constamment, bien qu'on la trouve quelquefois à un état parfait de conservation, à quelque dis-

tance de là, dans la craie blanche. Dans ce cas, il est évident que l'Oursin a d'abord pris son développement, qu'il est mort ensuite, et a perdu ses piquants, qui ont été entraînés. C'est alors seulement que la jeune Cranie a commencé à adhérer à l'enveloppe nue de l'Oursin, a grandi, est morte à son tour, et que sa valve supérieure s'est séparée de la valve inférieure ; le tout avant que l'*Echinus* ait été enfoui dans la vase crayeuse.

Nous jugeons utile de mentionner encore un exemple de la manière dont de simples fossiles peuvent quelquefois jeter du jour sur un ancien état de choses, et expliquer des événements qui se sont passés soit sur le lit de l'Océan, soit sur les terres voisines. A différentes profondeurs de l'argile sur laquelle Londres est bâtie, on rencontre de nombreux fragments de bois qui ont été percés par les Tarets. On extrait quelquefois de cette formation des troncs et des

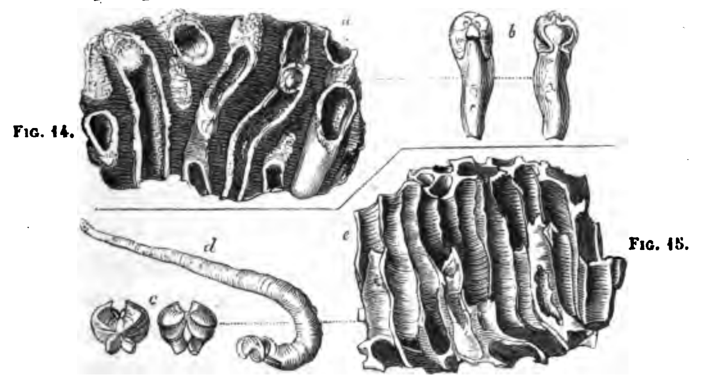


Fig. 14 et 15. — Bois fossile et bois récent percés par les mollusques perforants.

Fig. 14. — *a.* Bois fossile de l'argile de Londres, troué par la Térédine.
b. Coquille et tube de *Teredina personata* ; face ventrale à droite, face dorsale à gauche.

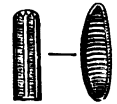
Fig. 15. — *e.* Bois récent, troué par le Taret.
d. Coquille et tube du *Teredo* (Taret) *navalis*.
c. Face antérieure et face postérieure des valves du même mollusque, détachées du tube.

rameaux entiers, de plus de 1 mètre de long, entièrement troués par ces animaux perforants dont les tubes et les coquilles subsistent encore dans les cavités cylindriques qu'ils ont produites. La figure 15, *e*, représente un fragment de

bois récent, percé par le *Teredo navalis*, ou Taret commun, qui détruit les pilotis et les vaisseaux. Lorsqu'on extrait du bois le tube cylindrique *d*, on voit, à son extrémité la plus grosse, une coquille composée de deux pièces, *c*. La fig. 14, *a*, représente aussi un fragment de bois fossile qui a été perforé par un animal de genre voisin, mais éteint, appelé *Teredina* par Lamarck. Le tube calcaire de ce mollusque était comme soudé aux valves de la coquille *b*, qui, par conséquent, ne pouvait point se détacher du tube comme les valves du Taret récent. Le bois de cet échantillon fossile est aujourd'hui converti en une pierre mêlée d'argile et de chaux; mais il a dû surnager et flotter à l'époque où les Térédines l'avaient choisi pour habitation, et perforaient sa masse dans tous les sens. Néanmoins, avant que la jeune colonie se fût fixée sur le tronc flottant, il avait fallu que ce tronc eût été d'abord entraîné à la mer après avoir été arraché du sol par une inondation, ou lancé à l'eau par le vent; et si l'on continue ainsi, de conjecture en conjecture, notre esprit se porte naturellement vers une période antérieure, pendant laquelle l'arbre a dû croître, vivre plusieurs années sur un continent dont le sol et le climat lui étaient favorables.

Nous avons remarqué qu'il existe à l'intérieur des continents, à différentes profondeurs de la terre, et à de grandes hauteurs au-dessus du niveau de la mer, des roches presque entièrement formées de débris de zoophytes et de testacés. On peut comparer ces roches aux bancs d'huîtres actuels et aux récifs de coraux, et conclure que leur accroissement a dû aussi être extrêmement long. Mais il existe de plus, dans l'écorce terrestre, une variété de dépôt pierreux provenant sans aucun doute de plantes et d'animaux, et dont l'origine organique n'avait cependant pas même été soupçonnée, jusqu'à ces dernières années, par les naturalistes. La découverte qui en a été faite récemment par le professeur Ehrenberg (de Berlin), excita donc une grande surprise parmi les savants : il remarqua qu'une certaine espèce de pierre siliceuse, que l'on nomme *tripoli*, était entièrement

composée de millions de débris de corps organiques qu'il rapporta à des infusoires microscopiques, mais que d'autres naturalistes ont supposé être des plantes. Ces corps abondent dans les lacs d'eau douce et les étangs, en Angleterre et dans d'autres contrées, et ils ont été appelés *Diatomacées* par les auteurs qui leur attribuent une origine végétale. Le tripoli est depuis longtemps bien connu dans les arts pour son emploi, sous forme de poudre, pour le polissage des pierres et des métaux. On le tire, entre autres localités, de Bilin en Bohême, où une seule couche, qui s'étend sur une large surface, a plus de 4 mètres d'épaisseur. Lorsqu'on examine cette pierre sous un microscope très grossissant, on voit qu'elle consiste en petites pièces siliceuses ou frustules de Diatomacées ; ces pièces ne sont unies par aucun ciment visible. Il est difficile de se faire une idée de leur extrême petitesse ; mais Ehrenberg estime qu'il y a 41 milliards d'individus de *Gallonella distans* (fig. 17) par 25 millimètres cubes de tripoli, ce qui représente environ $1^{gr},55$; c'est-à-dire qu'il y a à peu près 187 millions d'individus par chaque sept





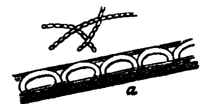


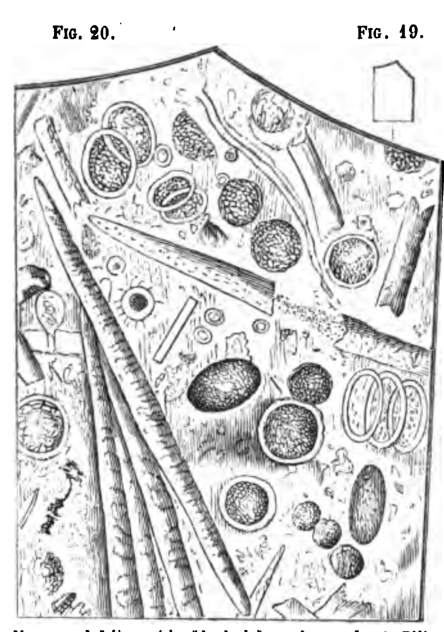
FIG. 16. — *Bacillaria vulgaris?* 17.— *Gallonella distans.* 18.— *Gallonella ferruginea.*

Ces figures sont grossies de près de 300 fois, excepté la figure inférieure de *G. ferruginea* (fig. 18, *a*), qui est grossie de 2000 fois.

millièmes de gramme. A chaque frottement, par conséquent, opéré avec cette poussière, nous réduisons en atomes plusieurs millions, dix millions peut-être, de ces corps organiques.

Ces débris de Diatomacées sont de silice pure ; leurs formes sont variables, mais elles sont tout à fait tranchées et elles se séparent facilement en genres et en espèces distinctes. Ainsi, quant à la famille des Bacillariées (fig. 16), les individus que l'on rencontre à l'état fossile présentent les mêmes divisions et les mêmes lignes transversales que les espèces

vivantes du même groupe. Avec les débris de Bacillariées, on rencontre aussi quelquefois des spicules siliceux ou supports intérieurs d'éponges d'eau douce, *Spongilla* de Lamarck (voyez ces corps en forme d'aiguilles, fig. 20). Ces fourreaux siliceux et spicules, quoique très durs, sont très fragiles, se brisent comme du verre, et sont très propres, lorsqu'on les a réduits en poudre fine, à polir la surface des métaux.



Morceau de silex résinoïde de la grande couche de Bilin.
FIG. 19. — Grandeur naturelle.
FIG. 20. — La même pièce grossie, montrant les articulations circulaires d'une espèce de *Gallonella* et des spicules de Spongille.

Outre le tripoli, qui est composé exclusivement des fossiles décrits ci-dessus, on rencontre, à la partie supérieure de la grande couche de Bilin, une autre pierre plus pesante et plus compacte, une sorte de demi-opale [résinite, ou silex résinoïde des auteurs français (1)], remplie d'innombrables débris de Diatomacées, et de spicules de Spongilles, liés ensemble par un ciment siliceux. On suppose que ce sont les parties siliceuses des Diatomacées les plus délicates qui ont été dissoutes par l'eau, et ont ainsi donné naissance à cette sorte d'opale dans laquelle les fossiles les plus durables sont conservés comme les insectes dans l'ambre. Cette opinion se trouve confirmée par ce fait, que les corps organiques diminuent en nombre et perdent l'aspérité

(1) Note du traducteur.

de leurs contours à mesure que la quantité de ciment opalin augmente.

Dans le tripoli de Bohême, comme dans celui de Planitz en Saxe, les espèces de Diatomacées (ou Infusoires, comme les appelle Ehrenberg) sont d'eau douce ; mais, dans le tripoli d'autres contrées, dans celui de l'Ile de France, par exemple, les espèces sont marines, et toutes appartiennent aux formations de la période *tertiaire*, dont nous parlerons plus loin.

M. Ehrenberg a aussi démontré que la substance bien connue sous le nom de *minerai de fer des marais*, et que l'on rencontre souvent dans les mousses des tourbières, se compose d'innombrables fils articulés, d'une couleur jaune d'ocre, formés en partie de silice et en partie d'oxyde de fer. Ces fils sont les fourreaux d'un très petit corps microscopique appelé *Gallonella ferruginea* (fig. 18).

Il est évident qu'un temps considérable a dû s'écouler pendant l'accumulation des couches à la formation desquelles ont contribué les débris de ces générations sans nombre de Diatomacées ; et cette découverte nous conduit naturellement à présumer que d'autres dépôts, que l'on était encore habitué à considérer comme composés de matériaux non organiques, proviennent de la dépouille de corps organiques microscopiques. On avait souvent soupçonné que la craie blanche était dans ce dernier cas, car on voyait cette roche abonder en divers fossiles marins, tels que : échinides, testacés, bryozoaires, coraux, éponges, crustacés et poissons. M. Lonsdale, en examinant, au mois d'octobre 1835, dans le muséum de la Société géologique de Londres, des échantillons de craie blanche provenant de différentes localités d'Angleterre, découvrit qu'en pulvérisant la matière dans l'eau, les parties qui ne paraissaient être à l'œil que de petits grains blancs étaient, en réalité, des fossiles bien conservés. Il obtint plus d'un millier de ces fossiles, par 500 grammes de craie ; quelques-uns étaient des fragments ténus de bryozoaires et de corallines, d'autres étaient des foraminifères entiers et des cythéridées. Les figures suivantes donneront

une idée des magnifiques formes de quelques-uns de ces corps. Les figures *a* (fig. 21, 22, 23, 24) représentent leur grandeur naturelle ; mais si ténues qu'elles paraissent, les plus petites d'entre elles, telles que *a* (fig. 24), sont gigan-

Cythéridées et Foraminifères de la craie.

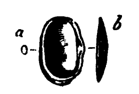
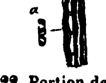
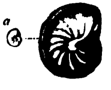


Fig. 21. — *Cythere*, Müll. (*Cytherina*, Lamk).



22. Portion de *Nodosaria*.



23. *Cristellaria rotulata*.



24. *Rosalina*.

tesques en comparaison des fourreaux de Diatomacées dont il a été question ci-dessus. On a, de plus, découvert dernièrement que les chambres qui divisent ces foraminifères sont aujourd'hui souvent remplies de millions d'autres corps organiques parfaitement conservés, du genre de ceux qui abondent dans chaque petit grain de craie, et qui sont surtout apparents dans la couche blanche du silex, où on les voit accompagnés d'innombrables spicules aciculaires d'éponges. Lorsqu'on réfléchit sur ces découvertes, on est naturellement conduit à supposer que, de même que le ciment amorphe du résinite de Bilin dérive, quant à sa composition, de matières animales et végétales, de même un grand nombre des silex de la craie, dans lesquels on ne saurait reconnaître aucun vestige de structure organique, peuvent cependant avoir été formés, en partie, d'animalcules microscopiques.

« La poussière que nous foulons aux pieds fut jadis vivante ! » (BYRON.)

Cette exclamation du poëte, quelque énergique qu'elle soit, ne nous donne cependant qu'une bien faible idée des véritables merveilles de la nature ! Car, à chaque pas, nous acquérons la preuve que la poussière calcaire ou siliceuse dont les collines sont composées, non-seulement a jadis été vivante, mais encore que chaque particule, quelque invisible qu'elle soit à l'œil nu, conserve encore la structure organique qui, à des époques infiniment éloignées, lui fut imprimée par la puissance de la vie.

Fossiles d'eau douce et fossiles marins. — Les couches présentent toutes la même forme, qu'elles aient été déposées dans l'eau salée ou qu'elles aient été formées dans l'eau douce ; mais les fossiles qu'elles renferment sont très différents, car les animaux aquatiques qui fréquentent les lacs et les rivières sont distincts de ceux qui habitent la mer. Dans la partie septentrionale de l'île de Wight, on voit, sur plus de 15 mètres d'élévation, des formations de marne et de calcaire dans lesquelles presque toutes, sinon toutes les coquilles, sont d'espèces éteintes. Cependant il est facile de reconnaître leur origine d'eau douce, car elles appartiennent aux genres qui abondent aujourd'hui dans les étangs et dans les lacs de nos contrées ou des latitudes plus chaudes.

Dans plusieurs localités de France, par exemple en Auvergne, on observe des couches de calcaire, de marne et de grès, épaisses de quelques centaines de mètres, qui contiennent exclusivement des coquilles d'eau douce et des coquilles terrestres, en même temps que des débris de quadrupèdes terrestres.

Le nombre de coquilles terrestres que l'on voit répandues çà et là à travers ces dépôts d'eau douce est vraiment prodigieux, et l'on cite des districts en Allemagne où les roches contiennent rarement d'autres fossiles que des coquilles d'escargot (*hélices*) : tel est le calcaire de la rive gauche du Rhin, entre Mayence et Worms, à Oppenheim, Findheim, Budenheim et autres endroits. Pour se rendre compte de ce phénomène, le géologue n'a qu'à examiner, à basses eaux, les petits deltas des torrents qui entrent dans les lacs de la Suisse, par exemple la plaine nouvellement formée à l'endroit où la Kander se jette dans le lac de Thoune. Il y verra du sable et du limon parsemés d'innombrables coquilles terrestres mortes, et qui ont été apportées des vallées des Alpes, le printemps précédent, lors de la fonte des neiges. De même, s'il examine les sables des bords du Rhin, dans la partie inférieure du cours de ce fleuve, il comptera un nombre infini de coquilles terrestres mêlées à d'autres espèces

des lacs, des étangs, des marais. Ces coquilles auront été apportées par les eaux, les unes des plaines alluviales du grand fleuve et de ses tributaires, quelques-unes des régions montagneuses, d'autres des contrées basses.

Bien que les formations d'eau douce présentent souvent une grande épaisseur, elles sont cependant très limitées en surface, comparativement aux dépôts marins; car les lacs et les estuaires n'offrent que de bien petites dimensions en comparaison des mers.

On peut reconnaître une formation d'eau douce à l'absence de divers fossiles que l'on rencontre presque invariablement dans les couches marines. Par exemple, on n'y observe pas d'oursins, ni de coraux, et rarement des zoophytes ; on n'y trouve pas non plus de coquilles cloisonnées, telles que le nautile et les foraminifères. Mais c'est principalement par la forme des mollusques, que l'on parvient à déterminer ce genre de formation. Dans un dépôt d'eau douce, le nombre de coquilles est souvent aussi grand, s'il n'est pas plus grand, que dans une couche marine ; mais ces coquilles varient peu quant à l'espèce et quant au genre. On pouvait s'y attendre d'après ce fait, que les genres et les espèces d'eau douce et terrestres récentes sont en petit nombre comparativement aux espèces marines. Ainsi, les

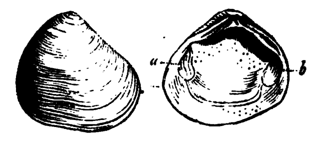


FIG. 25. — *Cyclas obovata*, fossile. (Hants.)

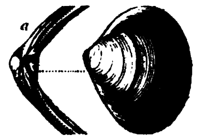


FIG. 26. — *Cyrena consobrina*, fossile. (Grays, Essex.)

genres des vrais mollusques, suivant le système de Blainville, en excluant les espèces éteintes et celles qui n'ont pas de coquilles, s'élèveraient à environ deux cents, sur lesquels les genres terrestres et les genres d'eau douce ne formeraient guère plus d'un sixième (1).

(1) Voyez le tableau synoptique dans la *Malacologie* de Blainville.

Presque toutes les coquilles bivalves, telles que celles des mollusques acéphales, sont marines; environ dix genres seulement, sur quatre-vingt-dix, sont d'eau douce. Parmi ces derniers, les quatre plus communs, soit à l'état vivant, soit à l'état fossile, sont les *Cyclas*, *Cyrena*, *Unio* et *Anodonta*. Les deux premiers et les deux derniers genres présentent des affinités telles qu'ils passent presque insensiblement l'un à l'autre.

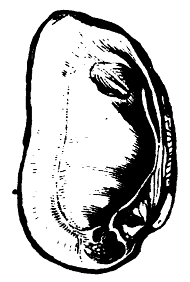



Fig. 27.—*Anodonta Cordierii*, fossile. (Paris.)

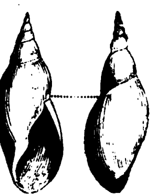

28. *Anodonta latimarginatus*, récent. (Bahia.)


29. *Unio littoralis*. récent. (Auvergne.)

Lamarck a divisé les mollusques bivalves en *Dimyaires*, qui ont de larges empreintes musculaires sur chaque valve, comme *a*, *b*, dans le *Cyclas* (fig. 25), et *Monomyaires*, tels que l'Huître et le Pétoncle, dans lesquels il n'existe qu'une seule de ces empreintes (fig. 30). Or, comme aucune de ces dernières coquilles, ou bivalves unimusculaires, n'est d'eau douce, on pourra conclure qu'un dépôt dans lequel on en découvrira des traces sera marin.


Fig. 30. — *Gryphæa incurva*, Sow. (*G. arcuata*, Lamk), valve supérieure. (Lias.)


Fig. 31. — *Planorbis evomphalus*, fossile. (Ile de Wight.)


32. *Limnea longiscata*, fossile. (Hants.)


33. *Paludina lenta*, fossile. (Hants.)

Les coquilles univalves les plus caractéristiques des dépôts d'eau douce sont : *Planorbis*, *Limnea* et *Paludina* (voyez les figures). On y ajoute habituellement les *Physa*, *Succinea*,







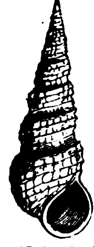
35. 36, 37.

FIG. 34. — *Succinea amphibia*, fossile. (Loess, Rhin.) *Ancylus elegans*, fossile. (Hants.) *Valvata*, fossile. (Grays, Essex.) *Physa hypnorum*, récente.

Ancylus, *Valvata*, *Melanopsis*, *Melania* et *Neritina* (voyez les figures).

Relativement à l'une de ces dernières, l'*Ancylus* (fig. 35), M. Gray observe qu'elle ne diffère quelquefois de la *Sipho-*







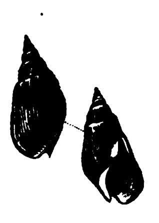


FIG. 38. — *Auricula*, récente. (Ava.) 39. *Melania inquinata*. (Bassin de Paris.) 40. *Physa columnaris*. (Bassin de Paris.) 41. *Melanopsis buccinoïdea*, récente. (Asie.)

naria marine par aucun autre caractère que celui de l'animal. Cependant la coquille de l'*Ancylus* est habituellement plus mince (1).

Quelques naturalistes comprennent la *Neritina* (fig. 42)

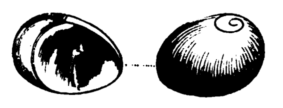




FIG. 42. — *Neritina globulus*. (Bassin de Paris.) 43. *Nerita granulosa*. (Bassin de Paris.)

et la *Nerita* marine (fig. 43) dans le même genre, par la raison qu'il est rarement possible de distinguer ces deux coquilles l'une de l'autre par de bons caractères génériques.

(1) Gray, *Philos. Trans.*, 1835, p. 302.

Mais, règle générale, les espèces fluviatiles sont plus petites, plus lisses et plus globulaires que les espèces marines, et ne présentent jamais, comme les *Neritæ*, le bord interne de la lèvre extérieure denté ou crénelé (fig. 43).



Fig. 44. *Cerithium cinctum.* (Bassin de Paris.)

Quelques genres, parmi lesquels on peut citer le *Cerithium* (fig. 44) comme le plus abondant, sont communs à la fois aux rivières et à la mer, et fournissent des espèces particulières à l'un et à l'autre de ces deux éléments. D'autres genres, comme l'*Auricula* (fig. 38), sont amphibies, habitant les marais, spécialement dans le voisinage de la mer.

Les coquilles terrestres sont toutes univalves. Les genres les plus abondants qu'elles fournissent, soit à l'état vivant, soit à l'état fossile, sont les *Helix* (fig. 45), *Cyclostoma* (fig. 46), *Pupa* (fig. 47), *Clausilia* (fig. 48), *Bulimus* (fig. 49) et *Achatina;* ces deux derniers genres se ressemblent beaucoup, et passent insensiblement de l'un à l'autre.

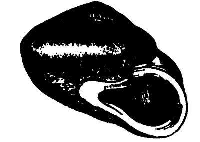








Fig. 45. — *Helix turonensis.* (Faluns, Touraine.) 46. *Cyclostoma elegans.* (Loess.) 47. *Pupa tridens.* (Loess.) 48. *Clausilia bidens.* (Loess.) 49. *Bulimus lubricus* (Loess, Rhin.)

L'*Ampullaria* (fig. 50) est un autre genre de coquille qui, dans les régions chaudes, habite les rivières et les étangs. Différentes espèces fossiles ont été rapportées à ce genre, mais on les a rencontrées principalement dans les formations marines, et quelques conchyliologistes soupçonnent qu'elles appartiennent à la *Natica*, ou à d'autres genres marins.



Fig. 50. — *Ampullaria glauca.* (Jumna.)

Toutes les coquilles univalves, d'espèces terrestres ou d'eau

douce, à l'exception de la *Melanopsis* (fig. 41) et de l'*Achatina* qui est légèrement dentée, ont la bouche entière : cette circonstance peut servir de règle pour distinguer une couche d'eau douce d'une couche marine; car si, dans un dépôt, quelques coquilles se rencontrent dont la bouche ne soit pas entière, on peut présumer que ce dépôt est marin.

L'ouverture est dite entière, dans les *Ampullaria* et les coquilles d'eau douce (fig. 45-49), lorsque le contour n'est point interrompu par des dentelures ou crans, tels que les

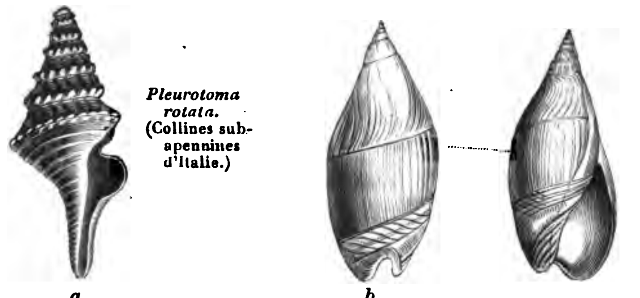


FIG. 51. FIG. 52.—*Ancillaria subulata.* (Argile de Londres.)

montre en *b* l'*Ancillaria* (fig. 52), ou bien ne se prolonge point en un canal, comme le présente en *a* le *Pleurotoma* (fig. 51).

La bouche, chez un grand nombre de ces univalves marines, offre des entailles ou canaux, et presque toutes les espèces sont carnivores ; tandis que la plupart des testacés qui ont la bouche entière se nourrissent de plantes, que leurs espèces soient marines, d'eau douce ou terrestres.

Un genre, toutefois, fournit une exception accidentelle à l'une des règles ci-dessus établies. Le *Cerithium* (fig. 44), bien que pourvu d'un canal court, comprend quelques espèces qui habitent l'eau salée, d'autres qui vivent dans les eaux saumâtres, quelques autres qui recherchent les eaux douces ; toutes, dit-on, se nourrissent de plantes.

Parmi les fossiles qui sont très communs dans les dépôts d'eau douce, on cite les *Cypris*, crustacés très petits, pourvus d'une coquille qui ressemble beaucoup à celle des mol-

lusques bivalves (1). Plusieurs petites espèces vivantes de ce genre habitent les lacs et les étangs en Angleterre, mais leurs coquilles ne sont pas, si on les considère isolément, caractéristiques de l'origine d'un dépôt d'eau douce, car la majorité des espèces d'un autre genre du même ordre, qui ont avec elles de l'affinité, les *Cytherinæ* de Lamarck (voyez ci-dessus, fig. 21, page 44), habitent l'eau salée, et bien que l'animal soit un peu différent de celui des Cypris, sa coquille se distingue difficilement de celle de ces derniers crustacés.

Les réceptacles de la graine (sporanges) et les tiges du *Chara*, genre de plantes aquatiques, se trouvent très fréquemment dans les couches d'eau douce. Avant que leur véritable nature fût connue, ces réceptacles étaient désignés sous le nom de *gyrogonites*, et on les prenait pour des coquilles de foraminifères (voyez fig. 53, *a*).

Les charas habitent le fond des lacs et des étangs, et se plaisent surtout dans les eaux chargées de carbonate de chaux.



FIG. 53.—*Chara medicaginula*, fossile. Éocène supérieur (île de Wight.)
a. Réceptacle des graines (sporange), grossi 20 fois.
b. Tige grossie.

FIG. 54.—*Chara elastica*, récent. (Italie.)
a. Réceptacle des graines, sessiles, entre les divisions des feuilles de la plante femelle.
b. Coupe transversale d'une branche, grossie, avec cinq tubes à graines, vus de bas en haut.

Les réceptacles sont couverts d'un tégument coriace, capable de résister à la décomposition ; circonstance à laquelle il faut attribuer leur abondance à l'état fossile. La figure 54 représente une tige de l'une des nombreuses et nouvelles

(1) Pour les figures des espèces fossiles de Purbeck, voyez plus loin, chap. XX.

espèces découvertes par le professeur Amici dans les lacs de l'Italie du nord. Les réceptacles, dans cette espèce, sont plus globulaires que dans les charas d'Angleterre, et, par conséquent, ressemblent beaucoup plus, pour la forme, aux espèces fossiles éteintes, trouvées en Angleterre, en France et dans d'autres contrées. On rencontre les tiges, de même que les réceptacles de ces plantes, dans les marnes coquillières récentes et dans les formations d'eau douce anciennes. Les tiges se composent généralement d'un large tube entouré de plusieurs autres tubes plus petits, le tout divisé de distance en distance par des étranglements transversaux (voyez *b*, fig. 53).

Il n'est pas rare d'observer, dans les couches qui contiennent des coquilles d'eau douce, des empreintes de feuilles et des branches d'arbres, en même temps que des bandes de matières végétales; on y trouve aussi parfois des dents et des ossements de quadrupèdes terrestres, d'espèces aujourd'hui inconnues. J'ai traité au long, dans les *Principes de géologie*, de la manière dont ces débris sont accidentellement entraînés par les rivières dans les lacs, surtout pendant les inondations (1).

Les débris de poissons servent quelquefois à établir l'origine d'eau douce des couches. Certains genres, tels que la carpe, la perche, le brochet, la loche (*Cyprinus*, *Perca*, *Esox*, *Cobitis*), et aussi le *Lebias*, sont particuliers à l'eau douce. D'autres genres fournissent à la fois des espèces d'eau douce et des espèces marines : tels sont les *Cottus*, *Mugil* et *Anguilla*. Les autres genres sont communs aux rivières et à la mer, comme le saumon, ou sont exclusivement caractéristiques des eaux salées. Toutefois, ces dernières observations sur les poissons fossiles sont applicables seulement aux dépôts les plus modernes ou tertiaires ; car, dans les roches plus anciennes, les formes s'éloignent tellement de celles que présentent les poissons d'aujourd'hui, qu'il est très difficile,

(1) Voyez, à l'Index des *Principes*, FOSSILISATION.

au moins dans l'état actuel de la science, de tirer des ichthyolites les moindres renseignements sur l'élément dans lequel les couches ont été déposées.

L'alternance des formations marines et d'eau douce, sur une grande ou sur une petite échelle, est un fait bien constaté en géologie. Lorsqu'elle se présente sur une petite échelle, on l'attribue à l'occupation alternative de certains espaces par une eau de rivière et par la mer; car, dans la saison des inondations, la rivière empiète sur l'Océan, en adoucit les eaux sur une très grande étendue, et dépose son sédiment; après quoi, l'eau salée reprend son domaine, et, revenant sur la place qu'elle occupait primitivement, la recouvre de sable, de limon et de coquilles marines.

A l'embouchure de plusieurs rivières, comme le Nil et le Mississipi, il existe des lagunes qui sont séparées de la mer par des barres de sable, et que remplissent alternativement l'eau salée et l'eau douce. Ces lagunes, pendant des mois, des années, des siècles même, communiquent exclusivement avec la rivière, jusqu'à ce qu'une brèche venant à se produire dans l'un des bancs de sable, elles sont envahies par la mer, et restent, pendant de longues périodes, couvertes d'eau salée.

Le Lym-Fiord, dans le Jutland, nous offre un excellent exemple d'un changement de ce genre. Pendant le cours des derniers mille ans, l'extrémité sud de cette embouchure, qui a 150 kilomètres environ de longueur, y compris ses embranchements, a été quatre fois alternativement remplie d'eau douce et d'eau salée; chaque fois, un banc de sable s'est produit entre elle et l'Océan, et chaque fois il a été détruit. La dernière irruption d'eau salée eut lieu en 1824; la mer du Nord y pénétra, et toutes les coquilles d'eau douce, les poissons et les plantes périrent; depuis cette époque jusqu'aujourd'hui, le *Fucus vesiculosus*, les huîtres et autres mollusques marins ont succédé aux *Cyclas*, *Limnea*, *Paludina* et *Chara* (1). Toutefois ces changements ne sauraient

(1) Voyez, à l'Index des *Principes*, LYM-FIORD.

rendre compte que de quelques cas particuliers de dépôts marins d'une étendue limitée, reposant sur des couches d'eau douce. Quand nous trouvons, dans le sud-est de l'Angleterre, une série considérable de couches d'eau douce de 300 mètres d'épaisseur, reposant sur des formations marines et recouvertes par d'autres roches, telles que les roches crétacées, qui ont plus de 300 mètres d'épaisseur elles-mêmes et offrent une origine marine si tranchée, nous éprouvons la nécessité de chercher, à ces phénomènes, d'autres explications (1).

(1) Voyez chapitre XVIII, sur le Weald.

CHAPITRE IV.

CONSOLIDATION DES COUCHES ET PÉTRIFICATION DES FOSSILES.

Dépôts chimiques et dépôts mécaniques. — Cimentation des particules. — Endurcissement par l'effet de l'exposition à l'air. — Nodules concrétionnés. — Effets de consolidation par la pression — Minéralisation des débris organiques. — Moules et empreintes ; comment ils se forment — Bois fossile. — Expériences de Gœppert. — Précipitation de la matière pierreuse, plus rapide par la putréfaction. — Sources de chaux en dissolution. — Silice dérivée de la décomposition du feldspath. — Preuves de la pétrification de certains fossiles, aussitôt après leur enfouissement, et de celle d'autres fossiles, après une putréfaction déjà avancée.

J'ai parlé, dans les chapitres précédents, des caractères des formations sédimentaires, quant à la distribution des fossiles et au dépôt des matières inorganiques ; il me reste à traiter de la consolidation des roches stratifiées et de la pétrification des débris organiques qu'on y rencontre.

Dépôts chimiques et mécaniques. — Les géologues ont établi une distinction entre les dépôts chimiques et les dépôts d'origine mécanique. Par ces derniers, ils ont voulu désigner les lits de vase, de sable ou de cailloux, produits par l'action de l'eau courante, ainsi que les accumulations de pierres et de scories lancées des volcans, et tombées, de leur propre poids, sur la place qu'elles occupent aujourd'hui. Quant à la matière qui forme un dépôt chimique, elle n'a pas été mécaniquement suspendue dans l'eau ; elle y est restée à l'état de dissolution jusqu'au moment où elle s'est séparée du dissolvant par une action chimique. C'est ainsi que le carbonate de chaux s'est précipité sur le fond des lacs et des mers, sous une forme solide, comme on le voit encore aujourd'hui dans plusieurs parties de l'Italie, sur les points où des sources minérales existent, et où se dépose le calcaire que l'on nomme travertin. Dans ces sources, la

chaux est tenue en dissolution par un excès d'acide carbonique, ou par la chaleur, si c'est une source chaude, jusqu'au moment où l'eau, sortant de la terre, se refroidit et perd une partie de son acide. La matière calcaire tombe alors sous forme solide, et encroûte des coquilles, des fragments de bois, des feuilles, et les lie ensemble (1).

Dans les bancs de coraux, de grandes masses de calcaire se forment par l'accumulation des squelettes pierreux des zoophytes, et ces derniers, de même que les coquilles, sont réunis par le carbonate de chaux probablement fourni par la décomposition des coraux morts. La plupart des coquilles, celles même d'animaux qui vivent encore aujourd'hui sur ces bancs, sont communément recouvertes d'une croûte dure de matière calcaire (2).

Si du sable et des cailloux sont entraînés à la mer par une rivière, et s'ils sont immédiatement liés ensemble par le carbonate de chaux, on peut assigner au dépôt une origine mixte, en partie chimique et en partie mécanique.

Les remarques que nous avons faites, dans le chapitre II, sur l'horizontalité originelle des couches, peuvent strictement s'appliquer aux dépôts mécaniques, et en partie seulement à ceux d'une nature mixte. Les dépôts qui sont purement chimiques peuvent se former sur une pente très escarpée, incruster même les parois verticales d'une fissure, et présenter partout la même épaisseur ; mais ils ont tous une très petite étendue, et sont, pour la plupart, limités à des veines.

Cimentation des particules.—C'est surtout dans les roches calcaires, que la solidification a lieu au moment du dépôt ; dans beaucoup d'autres, la cimentation ne s'opère que longtemps après leur formation. Quelquefois, là où des eaux de sources ferrugineuses ou calcaires ont traversé un lit de sable ou de gravier, on reconnaît que le fer ou le carbonate

(1) Voyez, à l'Index des *Principes*, SOURCES CALCAIRES.

(2) *Ibid.*, TRAVERTIN, BANCS DE CORAUX, etc.

de chaux a pénétré dans les interstices qui se trouvaient entre les grains ou les cailloux, et que le tout, lié ensemble, ne forme plus qu'une masse solide; tandis que, sur d'autres points, la même sorte de lit est restée meuble et incohérente.

On remarque une cimentation de ce genre dans une certaine roche à Kelloway, dans le Wiltshire. Un banc particulier de sable, appartenant au groupe que les géologues nomment *oolite*, après avoir présenté, sur une longue étendue, des grains incohérents et une masse friable, devient pierreux près de Kelloway. Dans ce district, on peut recueillir de nombreuses coquilles fossiles décomposées qui n'ont, pour la plupart, laissé que leurs empreintes. La matière calcaire qui en est résultée a évidemment servi, dans une époque ancienne, à cimenter des grains de sable siliceux et à produire un grès solide. Si l'on plonge dans une dissolution d'acide muriatique ou de tout autre acide, des fragments des divers grès argileux qui ont conservé les moules des coquilles, le ciment de chaux provenant des coquilles se dissout, et les grès se changent immédiatement en sable commun et en vase.

Les traces d'empreintes et de moules sont souvent très faibles. Dans quelques sables meubles de date récente, certaines coquilles sont arrivées à un tel degré de décomposition, qu'elles tombent en poussière dès qu'on les touche. Il est clair que l'eau, en filtrant à travers ces couches, a dépouillé les coquilles de la matière calcaire qui les enveloppait, et qu'à défaut de circonstances particulières qui aient permis au carbonate de chaux de se déposer de nouveau, les grains de sable n'ayant pu se cimenter, il n'est plus resté aucunes traces reconnaissables des corps organiques enfouis. On peut expliquer, de cette manière, l'absence de débris organiques dans certaines roches aqueuses ; mais on peut supposer aussi que, dans plusieurs de ces roches, il n'y a jamais eu de fossiles ; car il existe de très vastes étendues sur le fond des mers actuelles, même de moyenne profondeur, d'où la

drague ne rapporte aucuns fragments de coquilles, de coraux, ni d'aucune espèce de créatures vivantes. D'un autre côté, il y a des profondeurs où l'on approche du zéro de la vie animale : par exemple, dans la Méditerranée, à environ 230 brasses, d'après les recherches du professeur E. Forbes. Dans la mer Égée, à une profondeur de plus de 230 brasses, il existe un dépôt de limon jaunâtre, d'un caractère très uniforme, ressemblant beaucoup à la craie, et qui est entièrement dépourvu de débris organiques (1).

Nous verrons tout à l'heure, en traitant de la pétrification des corps fossiles, comment il se fait que la silice et le carbonate de chaux soient répandus d'une manière si générale, quoique en petite quantité, dans les eaux qui imbibent la croûte de la terre; pour le moment, je ferai seulement remarquer que des eaux de cette nature se trouvent dans le même cas que les eaux thermales : elles passent des parties plus chaudes aux parties plus froides de l'intérieur de la terre, et toutes les fois que la température du dissolvant s'abaisse, la matière minérale tend à s'en séparer et à se déposer sous forme solide. C'est ainsi qu'un ciment pierreux vient souvent s'ajouter à du sable, à des cailloux, ou à tout autre mélange de fragments. Dans certains conglomérats, tels que le poudingue d'Hertfordshire (dépôt Éocène inférieur), des galets de silex et des grains de sable sont si fortement unis par un ciment siliceux, que, si l'on vient à briser le bloc, la séparation a lieu aussi bien par le milieu des galets que dans l'épaisseur du ciment.

Il est probable qu'un grand nombre de couches ne se sont consolidées qu'au moment où elles sont sorties des eaux dans lesquelles elles avaient été déposées, et lorsqu'elles ont commencé à devenir terre ferme. Un fait bien connu paraît confirmer cette idée : les pierres que l'on emploie dans la construction des bâtiments ou des voies publiques sont presque toujours beaucoup plus molles, plus tendres au mo-

(1) *Reports of British Association*, 1843, p. 178.

ment où elles sont enlevées de la carrière qu'après avoir été exposées à l'air ; cependant, une fois qu'elles sont sèches, on peut les replacer dans l'eau pendant aussi longtemps que l'on veut, sans qu'elles reprennent leur état primitif. C'est pour cette raison qu'on taille les pierres destinées aux travaux d'architecture, de préférence pendant qu'elles sont encore tendres et humides et qu'elles contiennent leur *eau de carrière*, comme on dit communément ; de même aussi, on casse la pierre destinée aux routes pendant qu'elle est molle, et on la laisse ensuite sécher à l'air, pendant des mois, avant de l'étendre sur la voie. On peut se rendre compte de ce durcissement en supposant que l'eau qui pénètre les plus petits pores des roches dépose, par l'évaporation, du carbonate de chaux, du fer, de la silice et d'autres minéraux qui y étaient précédemment tenus en dissolution ; ces matières remplissent partiellement les interstices poreux, perdent, en cristallisant, toute liberté de mouvement, et relient entre elles les portions de la roche qui n'étaient auparavant que juxtaposées.

C'est d'après le même principe que le sable humide et la vase deviennent aussi durs que la pierre, quand ils sont gelés, parce que l'un des ingrédients de la masse, c'est-à-dire l'eau, cristallise de manière à unir fortement toutes les particules séparées dont le sable et la vase étaient composés.

Le docteur Mac Culloch cite un grès de l'île de Skye, que l'on peut mouler comme de la pâte, au moment de son extraction ; des minéraux qui, dans nos cabinets, sont rigides et aussi résistants que du verre, ont été souvent flexibles et mous dans leurs lits primitifs : tels sont l'asbeste, le sahlite, la trémolite, la calcédoine, et, comme on le prétend, le béryl (1).

La marne qui se dépose aujourd'hui au fond du lac Supérieur, dans l'Amérique du Nord, est molle et souvent remplie de coquilles d'eau douce ; mais, si l'on en fait sécher un mor-

(1) Docteur Mac Culloch, *Syst. of Geol.*, vol. I, p. 123.

ceau, il devient si dur, que l'on a de la peine à la casser d'un coup de marteau. Si l'on pouvait dessécher le lac, on trouverait que le dépôt qui en forme le fond consiste en couches de marne semblables à celles que l'on a observées dans bien des formations européennes, et qu'il contient, comme elles, des coquilles d'eau douce.

Il est probable que quelques-unes des matières hétérogènes que les rivières transportent à la mer, se consolident immédiatement sous l'eau, comme le mélange artificiel nommé pouzzolane, lequel consiste en sable fin volcanique, chargé d'environ 20 pour 100 d'oxyde de fer avec une petite quantité de chaux. Cette substance devient très dure et forme une pierre qui résiste solidement à l'eau ; les Romains s'en servaient pour la fondation des constructions marines.

Dans ce cas, la consolidation a lieu par l'action de l'affinité chimique sur une matière à l'état de particules infiniment ténues, précédemment suspendue dans l'eau. Une fois le dépôt terminé, ces particules paraissent exercer sur elles-mêmes une attraction mutuelle ; elles se rassemblent en certains points et forment des blocs, des nodules et des concrétions. Ainsi, dans différents dépôts argileux, on rencontre des boules calcaires ou concrétions sphériques, rangées par bandes parallèles à la stratification générale ; cette disposition s'est produite après que le schiste ou la marne ont été précipités en feuillets successifs, car on distingue souvent, dans les concrétions, certains de ces feuillets parfaitement marqués et parallèles à ceux de la roche non consolidée environnante (fig. 55). Quelques-uns de ces nodules de calcaire contiennent souvent, à leur centre, une coquille ou un corps étranger (1).

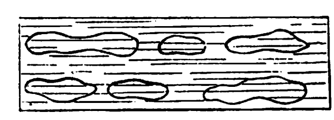


FIG. 55. — Nodules de calcaire, dans le lias.

Au nombre des plus remarquables exemples de structure

(1) Voyez De la Bèche, *Geological Researches*, p. 95, et *Geol. Observer*, 1851, p. 686.

concrétionnée sont ceux que cite le professeur Sedgwick, et que l'on observe abondamment dans le calcaire magnésien du nord de l'Angleterre. Les boules sphériques y sont de différentes grosseurs, depuis celle d'un pois jusqu'à quelques mètres; elles ont toutes une structure concentrique et rayonnée, et des bandes du dépôt originel les traversent sans interruption. Dans certains escarpements, ce calcaire ressemble à une longue rangée irrégulière de boulets de canon. Quelques-unes de ces masses globulaires ont leur centre dans une couche, tandis qu'une partie de leur circonférence traverse la couche supérieure ou inférieure. Ainsi (fig. 56) le plus grand sphéroïde passe de la couche *b* dans la couche *a* qui est au-dessus. Dans ce cas, on doit supposer que le dépôt d'une série de petits lits a primitivement formé la couche *b* et ensuite la couche *a*; un mouvement des particules a eu lieu alors, et les carbonates de chaux et de magnésie se sont séparés de la matière mélangée la plus impure, qui a continué de former la portion non consolidée de la couche. La cristallisation, commençant au centre, a dû produire autour du noyau des couches concentriques qui n'ont aucun rapport avec la structure feuilletée de la roche.

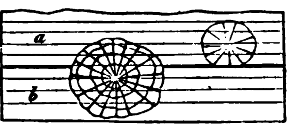


FIG. 56.—Concrétions sphéroïdales, dans le calcaire magnésien.

Quand les particules des roches ont été ainsi modifiées par des forces chimiques, il est quelquefois difficile, je dirai même impossible de s'assurer si certaines lignes de division sont dues au dépôt originel ou à l'agrégation subséquente des particules (fig. 57). Supposons que trois couches de grès A, B, C, soient inégalement chargées de matière calcaire et que B soit la plus calcaire : si la consolidation a lieu dans B, l'action de concrétion doit empiéter supérieurement sur une portion de A, où le carbonate de chaux est plus abondant que dans le reste de l'ensemble;

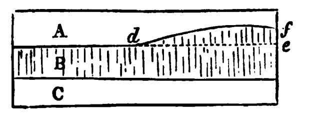


FIG. 57.

de manière qu'une portion *def*, faisant partie de la couche supérieure, s'unira avec B en masse pierreuse solide. La ligne originelle de la division *de*, se trouvant ainsi effacée, la ligne *df* sera généralement considérée comme la surface du lit B, quoiqu'elle ne soit point un véritable plan de stratification.

Pression et chaleur. — Lorsque du sable et de la vase se déposent au fond d'une mer profonde, les particules ne supportent pas tout le poids énorme de l'Océan qui est au-dessus ; car l'eau qui se trouve mêlée au sable et à la boue résiste à la pression avec une force égale à celle de la colonne fluide qui repose sur elle. Il en est de même des débris organiques, lorsque, remplis d'eau, ils se déposent sous une grande pression ; s'il en était autrement, ils seraient immédiatement broyés ou aplatis. Néanmoins, si les matériaux d'une couche restent dans un état de mollesse, et s'ils ne se solidifient pas, ils seront graduellement écrasés par le poids des autres matériaux qui s'amoncelleront successivement sur eux, de même que de l'argile molle ou du sable meuble sur lequel une maison serait construite ne tarderait pas à s'affaisser et à céder. Par suite de cette compression, les particules d'argile, de sable et de marbre peuvent être resserrées en un espace moindre et finir par se joindre en masse compacte.

Des effets analogues de condensation peuvent avoir lieu quand les parties solides de la croûte terrestre sont comprimées dans des directions diverses par ces mouvements mécaniques que nous décrirons plus loin, et par lesquels des couches ont été inclinées, brisées ou élevées au-dessus du niveau de la mer. Les roches, composées de matériaux sans consistance, peuvent aussi, au contact d'autres roches qui se sont consolidées avant elles, avoir été pressées contre celles-ci et avoir acquis une structure nouvelle. Une découverte récente nous aidera sans doute à comprendre comment un sédiment fin, provenant du détritus des roches, peut se solidifier par la seule pression. Le graphite, ou *mine de plomb* du commerce (en anglais, *black lead*, plomb noir),

commençant à devenir très rare, M. Brockedon a imaginé de recueillir la poussière des portions les plus pures du minéral, et d'en reconstituer une masse aussi solide et aussi compacte que le graphite naturel. Voici son procédé. La poussière de graphite est d'abord préparée avec soin, purgée d'air, placée sous une presse puissante, soigneusement calfeutrée, et sur un coin d'acier très fort; on donne plusieurs coups de presse, chacun de la puissance de 1000 tonnes, et, après cette opération, la masse est si parfaitement solidifiée, qu'on peut la tailler pour faire des crayons, et qu'elle montre dans la cassure la même texture que le graphite natif.

L'action de la chaleur, à diverses profondeurs de la terre, est probablement la plus puissante de toutes les causes qui coopèrent à l'endurcissement des couches sédimentaires. Je reviendrai sur ce sujet quand je parlerai des roches métamorphiques et de la structure schisteuse et feuilletée.

Minéralisation des débris organiques. — Les changements que les corps organiques fossiles ont éprouvés depuis qu'ils ont été enfouis dans les roches jettent un grand jour sur le mode de consolidation des couches. Dans quelques dépôts modernes, les coquilles fossiles n'ont éprouvé presque aucune altération depuis des siècles, si ce n'est la perte de leur matière animale ; mais, dans d'autres cas, la coquille a disparu, laissant soit une empreinte de sa forme extérieure, soit un moule de sa forme intérieure, soit enfin son propre moule.

On comprendra facilement ces différentes formes de fossilisation, si l'on examine la vase au moment où l'on vient de la retirer d'un étang ou d'un canal où il y a des coquilles. Si la vase est argileuse, elle acquiert de la consistance en séchant ; et lorsqu'on vient à en briser un morceau, on trouve que chaque coquille a laissé des empreintes de sa forme extérieure. Si l'on enlève la coquille elle-même, on trouve à l'intérieur un noyau solide d'argile, ayant la forme de l'intérieur de la coquille. Cette forme est souvent très différente de la forme extérieure. Voyez le moule *a* (fig. 58) qui se rapporte à la coquille qu'on appelle communément

vis fossile. Un conchyliologiste inexpérimenté pourrait-il jamais supposer que c'est la forme intérieure de l'univalve fossile *b* (fig. 58) ? Admettrait-il de même, à la première vue, que

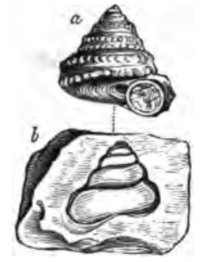




FIG. 58.—*Phasianella heddingtonensis*, et son moule. (Coral rag.)

FIG. 59.—*Trochus anglicus*, et son moule. (Lias.)

la coquille *a* et le moule *b* aient fait partie d'un même fossile ? Le lecteur observera, dans la fig. *b*, 59, qu'un espace vide, ombré fortement, autrefois occupé par la coquille elle-même, subsiste aujourd'hui entre la pierre et le moule ou empreinte qui reproduit l'intérieur lisse des tours de spire. La coquille a été dissoute, et les particules qui la composaient ont été enlevées par l'eau qui a filtré au travers de la roche. Si le noyau avait disparu, on eût vu à sa place une sorte de moule creux reproduisant en relief la forme extérieure de la coquille, avec ses tubercules et ses stries (*a*, fig. 59). Si, d'un autre côté, l'espace qui existe entre le noyau et l'empreinte, au lieu d'être vide, eût été rempli par du spath calcaire, de la silice, de la pyrite ou tout autre minéral, le moule nous aurait donné une empreinte exacte de la forme extérieure, aussi bien que de la forme intérieure de la coquille originelle. C'est ainsi que se sont produits les moules ou empreintes silicifiées ; et si le sable ou la boue du noyau sont de nature incohérente ou sont solubles dans l'acide, on peut alors se procurer en silice une coquille vide qui, par sa forme, est la contre-partie exacte de la coquille primitive. Ce genre de moule rappelle ces statues de bronze qui représentent une forme superficielle sans donner aucune idée de l'organisation intérieure. Mais voici un autre exemple de pétrification qui est très commun, et qui est des plus mer-

veilleux ; on peut le comparer à certains modèles en cire, d'anatomie, qui non-seulement reproduisent les traits et les formes extérieures, mais encore les nerfs, les vaisseaux sanguins et les autres organes intérieurs. Cet exemple est fourni par des coraux originairement calcaires qui ont conservé, dans le silex, non-seulement leur forme générale, mais aussi leur organisation intérieure jusque dans les plus minimes détails.

Une pétrification de ce genre, mais bien plus remarquable encore, se voit dans le bois fossile, qui conserve souvent, non-seulement les anneaux qui marquent sa croissance annuelle, mais encore ses vaisseaux les plus petits et ses rayons médullaires; on y distingue encore les cellules, les fibres, et jusqu'à ces vaisseaux spiraux que l'on ne peut découvrir qu'à l'aide du microscope dans les végétaux vivants. Parmi beaucoup d'exemples, je puis citer un arbre fossile de 22 mètres environ de longueur, que l'on a trouvé à Gosforth, près de Newcastle, dans une couche de sable associée à du charbon. Une tranche prise en travers, et assez mince pour permettre le passage à la lumière, m'a fait voir, sous un microscope grossissant cinquante-cinq fois, la texture que je représente (fig. 60). On a observé une texture aussi détaillée dans le bois de gros troncs d'arbres fossiles trouvés dans la carrière de Craigleith, près d'Édimbourg; la pierre n'était aucunement siliceuse; elle contenait principalement du carbonate de chaux, de l'oxyde de fer, de l'alumine et du carbone. Les rangées parallèles de vaisseaux qu'on observe dans la figure 60 représentent les anneaux d'accroissement annuel; sur un point seulement, ces vaisseaux ne sont conservés qu'imparfaitement, le bois ayant probablement été détérioré avant que la matière minéralisante eût pénétré jusqu'à cette partie de l'arbre.

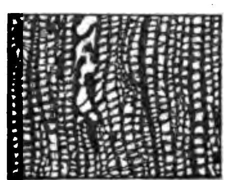


FIG. 60.
Texture d'un arbre du terrain houiller, grossie. (Witham.) Coupe transversale.

Pour essayer d'expliquer le procédé de pétrification dans ces différents cas, il faut d'abord admettre que les couches

sont généralement imbibées d'eau chargée de petites parties calcaires, siliceuses et autres, tenues en dissolution. Nous verrons plus loin comment a lieu l'imbibition des couches. Quand une substance organique se trouve exposée en plein air à l'action du soleil et de la pluie, elle finit par se putréfier ou par se dissoudre dans les éléments mêmes qui la composent, et qui sont principalement l'oxygène, l'hydrogène et le carbone. L'atmosphère a bientôt absorbé ces éléments, ou bien ils sont entraînés par les pluies, en sorte que tout vestige d'animal mort ou de plante disparaît. Mais, lorsque ces mêmes substances sont submergées, elles se décomposent plus lentement, et si elles sont enfouies dans la terre, elles disparaissent plus insensiblement encore, comme on peut s'en convaincre par les exemples que nous fournissent les bois que nous y trouvons.

Donc, si, à mesure que chaque particule organique se dégage par la putréfaction pour passer à l'état fluide ou gazeux, une particule égale de carbonate de chaux, de silice, ou d'autre minéral, se trouve toute prête à se déposer, on peut présumer que la matière inorganique ira prendre précisément la place abandonnée par la molécule organique. De cette manière, non-seulement on obtiendra d'abord le moule intérieur de certains vaisseaux, mais les parois de ces mêmes vaisseaux pourront ensuite se décomposer et éprouver une transformation semblable. Cependant, lorsque le tout est pétrifié, rien ne l'oblige à former une masse homogène, pierreuse ou métallique. Quelques-uns des éléments organiques originels, ligneux, osseux ou autres, peuvent y rester mélangés dans certains endroits, en même temps que la substance pétrifiante peut se colorer différemment à diverses époques, ou bien cristalliser de manière à réfléchir autrement la lumière ; et c'est ainsi que la texture du corps primitif peut être fidèlement représentée.

L'élève demandera peut-être si, d'après les principes de la chimie, nous avons lieu d'attendre que la matière minérale se précipite précisément dans les endroits mêmes où la

décomposition organique est en voie de progrès ? Les expériences curieuses que je vais mentionner serviront à éclaircir ce point. Le professeur Gœppert, de Breslau, a essayé tout récemment d'imiter les procédés naturels de la pétrification. A cet effet, il a plongé diverses variétés de substances animales et végétales dans des eaux dont quelques-unes contenaient, en dissolution, de la matière calcaire, siliceuse ou métallique. Au bout de quelques jours, il s'est aperçu que les corps organiques ainsi immergés étaient minéralisés en partie. Ainsi, il a placé, dans une solution moyennement concentrée de sulfate de fer, de minces lanières longitudinales de sapin d'Écosse (*Pinus sylvestris*). Après les avoir laissées tremper dans le liquide pendant quelques jours, il les a fait sécher, puis il les a exposées à une grande chaleur jusqu'à ce que la matière végétale fût consumée et que rien ne restât que l'oxyde de fer ; cet oxyde avait pris si parfaitement la forme du bois, que, sous le microscope, on y apercevait distinctement jusqu'aux vaisseaux qui sont particuliers à cette famille.

Une autre expérience est rapportée par M. Pepys, dans les *Transactions géologiques* (1). Une cruche de terre contenant plusieurs litres de sulfate de fer en dissolution avait été oubliée et laissée dans un coin du laboratoire, depuis douze mois environ. Au bout de ce temps, lorsqu'on examina la liqueur, on remarqua sur la surface une sorte de corps huileux, et une poudre jaunâtre que l'on reconnut être du soufre ; à cette poudre était mêlée une certaine quantité de petits filaments. On découvrit au fond de la cruche des ossements de souris, au milieu d'un sédiment contenant de petits grains de pyrite, des parcelles de soufre, du sulfate vert de fer cristallisé, enfin un oxyde de fer noir et vaseux. Il devint évident que quelques souris, tombées accidentellement dans le fluide, s'y étaient noyées, et que, par l'action mutuelle de la matière animale et du sulfate de fer, le sulfate métallique avait été dépouillé de son oxygène ; ce qui avait amené la précipi-

(1) Voyez tome I, p. 399, 1re série.

tation des pyrites et des autres composés. Quoique les souris n'eussent pas été minéralisées ou converties en pyrite, le phénomène ne montra pas moins comment les eaux minérales, chargées de sulfate de fer, peuvent se désoxyder lorsqu'elles se trouvent en contact avec de la matière animale en voie de putréfaction ; comment, atome par atome, les pyrites peuvent se former, et, dans des circonstances favorables, remplacer l'oxygène, l'hydrogène et le carbone dans lesquels le corps originel devait se résoudre.

Feu le docteur Turner a observé que, lorsque la matière minérale est à l'état naissant, c'est-à-dire au moment même où elle se dégage de l'état de combinaison chimique, elle est plus prompte à s'unir à une autre matière, et à former un nouveau composé chimique. Probablement les atomes, au moment où ils sont mis en liberté, sont d'un volume infiniment petit, se meuvent plus aisément, et sont, en un mot, plus disposés à céder aux moindres impulsions de l'affinité chimique. Quelle qu'en soit la cause, il faut admettre, comme nous l'avons fait précédemment, que là où la matière organique, nouvellement déposée dans un sédiment, se décompose, les changements chimiques ont lieu avec une activité plus grande.

On a dernièrement analysé l'eau qui découle de cette riche vase que dépose la rivière Hooghly, dans le delta du Gange, après l'inondation annuelle, et l'on a trouvé qu'elle est fortement chargée de gaz acide carbonique contenant de la chaux en dissolution (1). Or, si l'on admet que cette vase nouvellement déposée puisse être pénétrée par une matière minérale à l'état de dissolution, il ne sera pas difficile de comprendre que les corps organiques enfouis naturellement dans le sédiment où ils se décomposent, pourront se pétrifier aussi rapidement que les substances artificiellement immergées par le professeur Gœppert dans ses différents mélanges liquides.

Il est reconnu que l'eau des sources, ou celle qui filtre

(1) Piddington, *Asiat. Research.*, vol. XVIII, p. 226.

continuellement au travers de la croûte terrestre, contient presque toujours une légère proportion de fer, de carbonate de chaux, de soufre, de silice, de potasse ou d'autres ingrédients terreux, alcalins ou métalliques. Les sources d'eau chaude, en particulier, sont chargées d'un ou de plusieurs de ces éléments, et c'est seulement dans ces eaux que l'on trouve la silice en abondance. On peut donc, dans certains cas, surtout dans les régions volcaniques, croire que la silice des bois silicifiés et des coraux a été fournie par les eaux des sources thermales. Dans d'autres cas, dans le tripoli, par exemple, la silice a pu naître en grande partie, si ce n'est en totalité, de la décomposition de Diatomacées, d'éponges et d'autres corps. S'il en est ainsi, il nous reste encore à chercher d'où vient qu'un lac ou l'Océan peuvent être constamment fournis, et en si grande abondance, de la matière calcaire et siliceuse que leur empruntent, pour leurs sécrétions, tant d'êtres vivants ?

Quant à ce qui concerne le carbonate de chaux, il n'y a aucune difficulté à expliquer son origine, non-seulement parce que les sources calcaires sont nombreuses, mais encore parce que l'eau de pluie, quand elle tombe sur un sol où des matières végétales sont en voie de décomposition, peut se charger d'une certaine quantité d'acide carbonique, et acquérir ainsi le pouvoir de dissoudre une partie des roches calcaires sur lesquelles elle coule. Les coraux marins et les mollusques trouvent donc dans l'eau des fleuves la matière qui constitue leur coquille et leurs supports solides. La silice pure, au contraire, fût-elle réduite en poudre impalpable, et la fît-on bouillir longtemps, est insoluble dans l'eau, excepté à une température très élevée. Néanmoins le docteur Turner a très bien expliqué, dans un Essai sur la chimie géologique (1), comment la décomposition du feldspath pouvait être une source de silice en dissolution. Il a remarqué que la terre siliceuse, qui constitue plus de la moitié du feldspath, est

(1) Jam., *Edinb. new Philos Journ.*, n° 30, p. 246.

intimement combinée avec l'alumine, la potasse et quelques autres éléments. La matière alcaline du feldspath a de l'affinité chimique pour l'eau, ainsi que pour l'acide carbonique qui se trouve en plus ou moins grande abondance dans les eaux de la plupart des sources. L'eau charrie donc, avec elle, de la matière alcaline, et abandonne, sur son passage, une argile formée d'alumine et de silice. Mais on reconnaît que le résultat de cette décomposition qui, dans son plus grand état de pureté, reçoit le nom d'argile à porcelaine, ne contient qu'une partie de la silice qui existait dans le feldspath primitif; l'autre partie doit conséquemment avoir été dissoute et entraînée, et cela de deux manières : en premier lieu, parce que la silice, quand elle est combinée avec un alcali, est soluble dans l'eau; en second lieu, parce que cette même silice, lorsqu'elle est, techniquement parlant, dans son *état naissant*, est également soluble dans l'eau. De là une source d'aliments pour les rivières et les eaux de la mer. Les roches feldspathiques sont généralement répandues, et forment une grande portion des formations volcaniques, plutoniques et métamorphiques ; lors même qu'on n'en aperçoit pas de grandes masses, on manque rarement d'en découvrir des traces dans le gravier superficiel ou dans les dépôts d'alluvion du bassin de toute grande rivière.

La désagrégation du mica, autre minéral qui entre si largement dans la composition du granit et des différents grès, peut aussi fournir de la silice soluble dans l'eau ; car la moitié environ de ce minéral est composée de silice combinée avec l'alumine, la potasse et à peu près un dixième de fer, dont l'oxydation dans l'air est la cause principale de la décomposition du mica.

Il nous reste cependant encore beaucoup à apprendre avant de connaître complétement la transformation des corps fossiles en pierre. Quelques phénomènes nous portent à croire que la minéralisation s'opère avec une rapidité considérable, car on rencontre, parfaitement converties en silex, des tiges qui ont dû être molles, succulentes et d'une nature prompte-

ment périssable. On connaît des exemples de silicification complète de jeunes feuilles de palmiers sur le point de se développer, dans l'état où, dans les Indes occidentales, on leur donne le nom de *choux-palmiers* (1). On peut demander cependant si, dans de tels cas, l'eau n'a pas possédé une qualité antiseptique qui a retardé la putréfaction, de manière à préserver de toute altération les parties molles de la substance enfouie, comme il en a été de la chair de certains corps ensevelis dans la tourbe.

M. Stokes a cité plusieurs exemples de pétrification, dans lesquels ce sont tantôt les parties les plus périssables, et tantôt les parties les plus durables qui ont été conservées. Ces variations, pense-t-il, ont dépendu du temps auquel le minéral pétrifiant a été introduit. Ainsi, dans certaines tiges de palmier, le tissu cellulaire, cette portion si délicate, se trouve dans un état parfait de conservation, tandis que toutes les traces de la fibre dure du bois ont totalement disparu ; les espaces qu'elle occupait sont restés creux ou ont été remplis d'agate. Ici, la pétrification a dû se manifester peu de temps après que le bois eut commencé à être pénétré par l'humidité ; la matière minérale vint à manquer ou bien l'eau devint trop affaiblie avant la destruction de la fibre du bois. Mais quand cette fibre seule demeure visible, nous devons supposer qu'un intervalle de temps a dû s'écouler avant le commencement de la pétrification, et que, pendant ce temps, le tissu cellulaire a été détruit. Quand ces deux parties à la fois, le tissu cellulaire et la fibre ligneuse, sont conservées, l'opération a dû se produire instantanément et se continuer sans interruption, jusqu'à ce qu'elle ait été complétement terminée (2).

(1) Stokes, *Geol. Trans.*, vol. V, p. 212, 2e série.
(2) *Ibidem.*

CHAPITRE V.

ÉLÉVATION DES COUCHES AU-DESSUS DE LA MER. — STRATIFICATION HORIZONTALE ET INCLINÉE.

Pourquoi la position élevée des couches marines au-dessus du niveau de la mer doit-elle être attribuée plutôt à l'exhaussement de la terre qu'à l'abaissement de la mer? — Élévation de masses très étendues de couches horizontales. — Stratification verticale et inclinée. — Lignes anticlinales et synclinales. — Couches plissées, dans l'est de l'Écosse. — Théorie des plis par mouvement latéral. — *Creeps*. — Plongement et direction. — Structure du Jura. — Formes diverses d'affleurements. — Roches brisées par flexion. — Position intervertie de couches disloquées. — Fausse stratification. — Hutton et Playfair sur ce sujet. — Fractures des couches. — Surfaces polies. — Failles. — Alternances répétées, apparentes, qu'elles produisent. — Origine des grandes failles.

La terre s'est élevée, la mer n'a pas baissé. — Nous avons établi que les roches aqueuses qui contiennent des fossiles marins occupent une vaste étendue sur le continent, et que, sous forme de chaînes de montagnes, elles atteignent des hauteurs considérables au-dessus du niveau de la mer. Il s'ensuit que les continents d'aujourd'hui ont été autrefois sous les eaux. Si nous admettons cette conclusion, nous devons supposer, ou que les eaux de l'Océan se sont abaissées, ou que les roches solides, autrefois couvertes par les eaux, se sont élevées au-dessus de la mer.

Les premiers géologues qui se trouvèrent réduits à cette alternative, embrassèrent la première opinion ; ils prétendirent que l'Océan avait originairement couvert la terre, qu'il avait ensuite graduellement baissé jusqu'au niveau qu'il atteint actuellement, et que c'est ainsi que les îles et les continents auraient été laissés à sec. Il parut plus facile à ces géologues de supposer un abaissement de l'eau que d'admettre un exhaussement par lequel la terre solide se serait élevée à sa position présente. Il leur fut cependant impossible d'imaginer

aucune hypothèse satisfaisante pour expliquer la disparition d'une masse d'eau aussi considérable de la surface du globe; car on ne saurait nier que l'Océan ait couvert de ses eaux tout point élevé où l'on peut découvrir des coquilles marines. Il devint cependant évident, à mesure que la science de la géologie fit des progrès, que certaines régions du globe avaient été alternativement fond de mer, puis terre exondée, puis baie, puis mer encore, et enfin, une fois de plus, terre habitable, après être restées dans chacun de ces états pendant un temps considérable. Pour rendre compte de semblables phénomènes, sans admettre aucun mouvement de la terre même, il fallait supposer plusieurs retraites et retours de l'Océan; et encore cette théorie, uniquement applicable aux cas où les couches marines qui composent la terre ferme sont horizontales, laissait sans explication les cas bien plus nombreux où des couches sont inclinées, courbées ou posées sur leur tranche, position qui, évidemment, n'est pas celle qu'elles ont occupée dans l'origine.

Les géologues furent enfin obligés d'avoir recours à l'autre alternative, savoir, à la doctrine d'après laquelle la terre solide aurait été successivement exhaussée ou abaissée, de manière à changer plusieurs fois de niveau relativement à la mer. Différentes raisons militent en faveur de cette conclusion. D'abord, elle peut rendre compte de la position de ces masses élevées, d'origine marine, et dans lesquelles la stratification est horizontale; elle peut expliquer aussi la position des couches qui sont disloquées, brisées, verticales ou inclinées. En second lieu, elle est d'accord avec les expériences qui nous démontrent que la terre s'élève graduellement dans quelques endroits, et qu'elle s'abaisse dans quelques autres. De pareils mouvements ont eu lieu même de nos jours; dans certains cas, ils ont été accompagnés de violentes commotions, tandis que, dans d'autres, ils se produisent si insensiblement qu'on n'a pu les constater qu'au moyen des recherches scientifiques les plus minutieuses, faites à des intervalles de temps considérables. D'un autre côté, aucune

expérience n'a constaté l'abaissement du niveau de la mer, et l'Océan ne peut baisser sur un point sans que son niveau soit modifié en même temps sur toute la surface du globe.

Ces remarques préliminaires prépareront le lecteur à comprendre le grand intérêt théorique qui se rattache à tous les faits relatifs à la position des couches horizontales ou inclinées, courbées ou verticales.

La première et la plus simple de toutes ces positions est celle où les couches d'origine marine se rencontrent au-dessus du niveau de la mer, dans une direction horizontale. Telles sont celles que l'on voit dans le sud de la Sicile, et qui sont remplies de coquilles appartenant aux mêmes espèces que celles qui vivent de nos jours dans la Méditerranée. Quelques-unes de ces couches s'élèvent à plus de 600 mètres au-dessus de la mer.

D'autres massifs de montagnes, également composés de couches horizontales d'un âge très ancien, contiennent des débris fossiles d'animaux totalement différents de ceux qui existent aujourd'hui. Au sud de la Suède, par exemple, près du lac Wener, un des dépôts fossilifères les plus anciens de la série géologique, autrefois désigné sous le nom de *dépôt de transition*, et qui l'est maintenant sous celui de *silurien*, nous montre des lits placés comme s'ils avaient fait tout récemment partie du delta d'une grande rivière, et comme s'ils avaient été laissés à sec par le retrait de débordements annuels. Des roches aqueuses, à peu près du même âge, s'étendent sur des centaines de kilomètres, dans le district des lacs de l'Amérique du Nord, et montrent également une stratification rarement dérangée. La montagne de la Table, au cap de Bonne-Espérance, fournit un autre exemple de couches très élevées et cependant parfaitement horizontales ; cette montagne a plus de 1000 mètres de hauteur ; elle est formée de grès d'un âge très ancien.

Au lieu d'imaginer que ces roches fossilifères ont toujours occupé leur niveau actuel, et qu'autrefois la mer a été assez élevée pour les couvrir de ses eaux, nous supposerons qu'elles

ont formé d'abord l'ancien lit de l'Océan, et qu'elles ont été ensuite graduellement portées à la hauteur qu'elles occupent aujourd'hui. Cette idée, si étonnante qu'elle puisse paraître au premier abord, s'accorde cependant tout à fait avec l'analogie des changements qui ont lieu, de nos jours, dans certaines régions du globe. Ainsi, dans quelques parties de la Suède, sur les rives et les îles du golfe de Bothnie, on a des preuves que la terre a subi depuis des siècles, et subit encore un mouvement lent d'élévation. Playfair a émis cette opinion en 1802; et, en 1807, de Buch, après avoir voyagé en Scandinavie, affirma que la terre s'y élevait progressivement. Celsius et d'autres écrivains suédois avaient annoncé déjà, cent ans auparavant, qu'un changement graduel s'opérait depuis des siècles dans le niveau relatif de la terre et de la mer. Ils avaient attribué ce changement à une baisse des eaux de l'Océan et de la Baltique. Cette théorie, toutefois, se réfuta dès que l'on eut reconnu que le changement de niveau relatif n'a jamais été universel ni égal partout. Dans certaines contrées, il s'est élevé de quelques mètres par siècle; dans d'autres, de quelques centimètres; tandis que, dans la partie la plus méridionale de la Suède, dans la province de Scanie, la terre a plutôt perdu que gagné, ainsi que le prouvent d'anciennes constructions qui ont graduellement baissé au-dessous du niveau de la mer (1).

Il paraît, d'après les observations de M. Darwin et d'autres, que des parties très étendues du continent de l'Amérique du Sud ont éprouvé un exhaussement lent et graduel, à la suite duquel les plaines unies de la Patagonie, couvertes de

(1) Dans les trois premières éditions de mes *Principes de géologie*, j'ai exprimé des doutes sur la validité des preuves d'un exhaussement graduel de la terre en Suède; mais, après avoir visité ce pays en 1834, j'ai rétracté mes objections, et j'ai publié un récit détaillé des observations qui m'avaient porté à changer d'opinion, dans les *Philos. Trans.*, 1835, part. I. Voyez également les *Principes*, 4e édit. et les suivantes.

coquilles marines récentes, et les Pampas de Buenos-Ayres, ont été élevées au-dessus du niveau de la mer (1).

D'un autre côté, l'abaissement graduel de la côte sud du Groënland, sur une longueur de plus de 900 kilomètres, du nord au sud, pendant les quatre siècles derniers, a été constaté par les observations d'un naturaliste danois, le docteur Pingel. Pendant que ces preuves d'abaissement et d'exhaussement du continent, par des mouvements lents et insensibles, étaient récemment recueillies, d'autres preuves étaient fournies journellement par les violentes convulsions que ressentaient les pays où les tremblements de terre sont fréquents. Là, les roches se fendent de temps à autre, s'élèvent ou s'abaissent de plusieurs mètres à la fois, et sont bouleversées de telle manière que la position primitive des couches est pour jamais modifiée.

M. Darwin a aussi démontré que, dans les mers où les îles circulaires et les récifs de coraux abondent, il se produit un abaissement lent, mais continuel, des montagnes sous-marines sur lesquelles reposent les masses de corail, tandis que, sur d'autres points de la mer du Sud, la terre est en voie d'exhaussement, et le corail a été élevé bien au-dessus du niveau de la mer.

Il faudrait tout un volume pour expliquer au lecteur les faits qui établissent la réalité de ces mouvements d'abaissement ou d'élévation de la terre, qu'ils soient suivis ou précédés de tremblements de terre, ou bien qu'ils s'accomplissent avec lenteur et sans désordre local. Comme j'ai traité complétement de ce sujet dans les *Principes de géologie* (2), j'ajouterai seulement ici que de tels changements font partie du cours actuel de la nature ; ce principe une fois admis suffira pour donner la clef d'une quantité de phénomènes géologiques, tels que l'élévation des couches marines hori-

(1) Voyez son *Journal d'un naturaliste*, dans le *Voyage du Beagle*, et son ouvrage sur les *Bancs de coraux*.

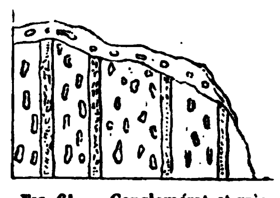
(2) Voyez chapitres XXVII à XXXII inclusivement, et chapitre I.

zontales, inclinées ou bouleversées, et la superposition des dépôts d'eau douce aux dépôts marins, que nous décrirons plus loin.

On verra aussi, par la suite, quel jour répandra la doctrine de l'abaissement continu de la terre, sur la manière dont une série de couches, se formant dans des eaux basses, peuvent cependant s'accumuler sur une grande épaisseur. On ne saurait comprendre l'excavation des vallées, ni les autres effets de la *dénudation*, si l'on n'a pas mûrement apprécié à l'avance les preuves de l'élévation ou de l'abaissement de la terre sur de vastes étendues.

Pour terminer, je dois faire observer que si nous embrassions la doctrine qui attribue la position élevée des formations marines et la dépression de certaines couches d'eau douce aux oscillations du niveau des eaux, au lieu de l'attribuer à celles du niveau de la terre, nous serions forcés d'admettre que l'Océan aurait été parfois moins profond sur toute son étendue qu'il ne l'est à présent, tandis que, dans certains endroits, il aurait eu près de 5 kilomètres de profondeur de plus qu'il n'en a aujourd'hui.

Stratification inclinée. — La preuve la moins équivoque d'un changement dans la position primitive des couches, est celle de la perpendicularité de leurs plans, que l'on observe fréquemment, surtout dans les contrées montagneuses. Ainsi, on remarque en Écosse, à la lisière sud des Grampians, des lits de poudingue, alternant avec des bandes minces de sable fin, et, comme elles, en position verticale. Quand de Saussure trouva pour la première fois, dans les Alpes suisses, certains conglomérats dans une situation semblable, il observa que les galets, presque tous de forme ovale, avaient leurs axes les plus longs parallèles aux parois de la stratification (fig. 61). Il en conclut que ces couches devaient avoir été d'abord horizontales, chaque galet ovalaire n'ayant dû reposer origi-


FIG. 61. — Conglomérat et grès verticaux.

nellement au fond de l'eau que sur son côté plat, par la même raison qu'un œuf ne peut rester debout sur l'une ou l'autre de ses extrémités, s'il n'est soutenu par un point d'appui. Quelques-unes des pierres arrondies offrent quelquefois, il est vrai, dans les conglomérats, une exception à cette règle, par la même raison encore que nous voyons, sur une plage couverte de galets, quelques-uns de ceux-ci reposer sur leur pointe ; mais ils ont été amenés à cette position par la vague, ou par le courant, qui les a culbutés les uns sur les autres.

Les couches verticales, lorsqu'on peut les suivre d'une manière continue vers le haut ou vers le bas, jusqu'à une certaine distance, semblent invariablement faire partie de grandes courbes qui peuvent avoir depuis quelques mètres jusqu'à plusieurs kilomètres de rayon. J'en citerai, en première ligne, deux qui affectent une régularité très grande ; on les voit dans le Forfarshire, où elles s'étendent sur une surface de 30 kilomètres et plus en largeur, depuis le pied des Grampians jusqu'à la mer, près d'Arbroath.

La masse des couches que l'on observe sur ce point peut avoir environ 600 mètres d'épaisseur, et consiste en grès rouges et blancs, et en divers schistes colorés ; on y distingue quatre groupes de lits principaux, savoir : n° 1, marne rouge ou schiste ; n° 2, grès rouge à bâtir ; n° 3, conglomérat ; et n° 4, pierre grise à paver et pierre à couvrir (*tile stone*) avec schistes verts ou rougeâtres, contenant des débris organiques particuliers.

En jetant un coup d'œil sur la coupe, on voit que chacune des formations 2, 3, 4, revient trois fois à la surface, deux fois avec une inclinaison sud, et une fois avec une inclinaison nord. Les lits n° 1, qui sont horizontaux, reviennent deux fois à la surface par une légère courbe, c'est-à-dire une fois de chaque côté de A. En commençant à l'extrémité N.-O., les tile-stones et les conglomérats n° 4 et n° 3 sont verticaux, et forment généralement une chaîne parallèle aux lisières sud des Grampians. Les couches supérieures n°s 2 et 1 inclinent de

moins en moins, en descendant vers la vallée de Strathmore où les couches, présentant une courbe concave, reposent, comme disent les géologues, dans une *cuvette* ou *bassin*. Au centre de cette vallée, court une ligne imaginaire A, que l'on nomme techniquement une *ligne synclinale*, et où les lits qui se recourbent dans des directions opposées sont censés se réunir. Il importe beaucoup à l'observateur de noter ces lignes, car il verra, par le diagramme, qu'en voyageant du nord au centre du bassin, il passera toujours des lits les plus anciens aux plus nouveaux, au lieu que, en traversant la ligne A et en poursuivant la même direction sud, il quittera successivement les lits les plus nouveaux et s'avancera vers les plus anciens. Tous les dépôts qu'il aura d'abord examinés commenceront à se représenter dans un ordre inverse, jusqu'à ce qu'il arrive à l'axe central de Sidlaw Hills, où il verra les couches formant un arc ou *selle*, avec une ligne *anticlinale* B au centre. Après cette ligne, et en poursuivant vers le S.-E., les formations 4, 3 et 2 apparaîtront encore dans le même ordre de superposition, mais avec une inclinaison sud. A Whiteness, il verra que les couches inclinées sont couvertes d'un nouveau dépôt *a*, en lits horizontaux composés de conglomérats rouges et de sable, plus nouveaux qu'aucun des autres groupes 1, 2, 3, 4, que nous

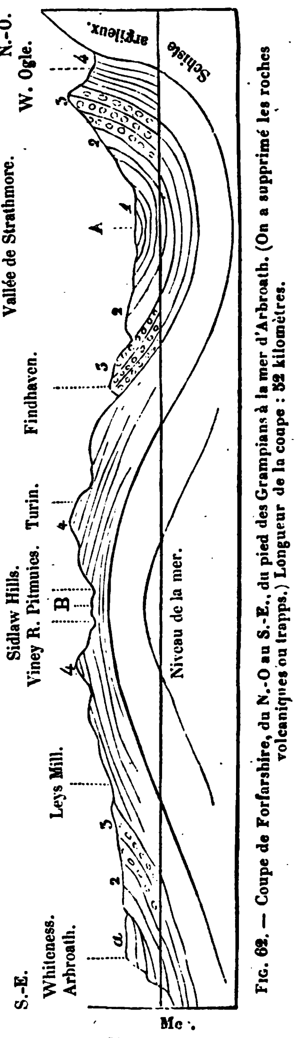


FIG. 62. — Coupe de Forfarshire, du N.-O au S.-E., du pied des Grampians à la mer d'Arbroath. (On a supprimé les roches volcaniques ou trapps.) Longueur de la coupe : 32 kilomètres.

venons de décrire, et reposant en stratification discordante sur les couches du groupe de grès n° 2.

Sir James Hall a parfaitement décrit des courbures ou convolutions de roches bien plus aiguës et beaucoup plus nombreuses, sur un espace aussi limité, figure 63 (1). On les observe près de Saint-Abb's Head, sur la côte orientale d'Écosse, où la roche principale est un schiste bleu, à surface fréquemment ondulée. Les ondulations des lits se prolongent depuis le sommet jusqu'à la base d'escarpements qui ont de 60 à 90 mètres de hauteur ; on compte, dans un espace d'environ 8 kilomètres, seize courbures distinctes, alternativement concaves et convexes vers le haut.



FIG. 63. — Couches de schiste recourbées, près de St-Abb's Head, Berwickshire. (Sir J. Hall.)

Sir James Hall fit une expérience pour reconnaître la manière dont les couches avaient été amenées à cette position après avoir été primitivement horizontales. Il plaça, sous un certain poids, une série de petits lits d'argile, et pressa assez fortement contre leurs extrémités opposées pour qu'elles fussent forcées de se rapprocher l'une vers l'autre. Après avoir ôté ensuite les poids, il remarqua que les petits lits étaient courbés et plissés, de manière à ressembler, en petit, aux couches analogues des rochers de Saint-Abb. Nous devons, toutefois, ne pas oublier que, dans les sections naturelles ou escarpements marins, nous ne voyons qu'imparfaitement les plis ; ils

(1) *Edinb. Trans.*, vol. VII, pl. 3.

sont invisibles sous les eaux, et, d'ailleurs, on peut supposer que leur partie supérieure a été enlevée par la dénudation, action de l'eau dont nous donnerons l'explication dans le chapitre suivant. Les lignes noires (fig. 64) représentent

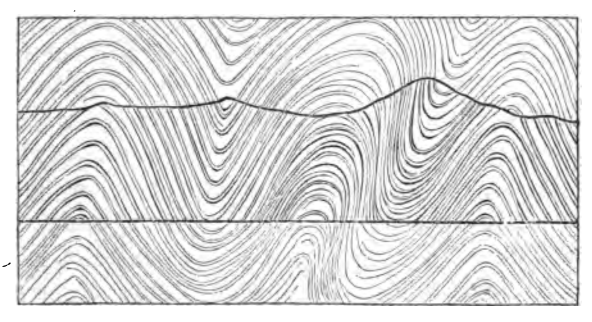


FIG. 64.

la portion des couches visibles dans l'escarpement. Les lignes moins foncées désignent la portion cachée sous le niveau de la mer, ainsi que celle qui est supposée avoir existé au-dessus de la surface actuelle. On rendrait encore plus saisissables les effets que la compression peut produire sur des couches flexibles, en plaçant quelques morceaux de drap de différentes couleurs sur une table; après que ceux-ci auront été étendus horizontalement, couvrez-les avec un livre, ajoutez ensuite d'autres livres à chacune des extrémités, et pressez le tout. Les plis de drap que vous obtiendrez reproduiront exactement ceux que l'on voit dans les courbures des couches (fig. 65).

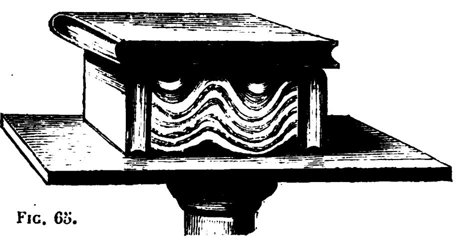


FIG. 65.

Que ces courbures aient été le résultat de semblables efforts latéraux, c'est une question très difficile à résoudre. Dans le cas des roches volcaniques et granitiques, il paraîtrait que certaines d'entre elles, au moment de la fusion, auraient été injectées de force dans des fissures, tandis que d'autres, déjà parvenues à un état complet de solidité,

auraient été poussées verticalement au travers de la croûte supérieure de la terre, ce qui a dû causer un grand déplacement des couches flexibles.

Nous savons aussi, par l'étude que nous avons faite des contrées sujettes aux tremblements de terre, qu'il existe, d'une manière permanente, à l'intérieur du globe, des causes capables de produire un abaissement du sol souvent très local, d'autres fois s'étendant sur une large surface.

La répétition fréquente ou la continuité pendant de longues périodes de ces mouvements d'abaissement, semble impliquer la formation et le renouvellement de cavités à une certaine profondeur au-dessous de la surface, soit par suite d'un déplacement de matières dû à l'action des volcans et des sources thermales, soit par la contraction des roches argileuses sous l'influence de la chaleur et de la pression, soit enfin par quelque autre cause. Quelles que soient les conjectures auxquelles on se livre sur ces causes, il est certain que des couches susceptibles d'être pliées peuvent, lorsqu'il existe des degrés inégaux d'affaissement, se plisser plus ou moins, et paraître tout à fait comme si la compression se fût exercée subitement par un effort latéral.

Les *creeps*, nom usité dans les mines de houille, fournissent une excellente démonstration de ce fait. D'abord, on peut établir, d'une manière générale, que l'excavation de la houille, à une profondeur considérable, fait baisser en masse l'ensemble des couches sus-jacentes, même quand on prend la précaution de multiplier les étais du toit de la mine. « Dans le Yorkshire, dit M. Buddle, trois affaissements se manifestèrent à la surface du sol, lorsqu'on eut extrait les trois lits de houille sous-jacents, et d'innombrables fentes se produisirent dans le sens vertical, au travers des masses de grès et de schiste argileux qui subirent un tassement proportionnel (1). » La quantité exacte de dépression ne peut, dans ce cas, être exactement appréciée que sur les points où l'eau

(1) *Proceed. of Geol. Soc.*, vol. III, p. 148.

s'accumule, ou sur lesquels un chemin de fer traverse le bassin houiller.

Lorsqu'on exploite un lit de houille, on laisse, par intervalle, des piliers ou masses rectangulaires de houille, pour supporter le toit et protéger les galeries de mine. Dans la figure 66, qui représente une coupe prise à Wallsend (Newcastle), les galeries qui ont été excavées sont représentées par les espaces blancs *a*, *b*, tandis que les parties voisines, plus foncées, indiquent des portions de lits de houille primitifs laissés comme étais ; des lits d'argile sableuse ou de schiste argileux constituent le plancher de la mine. Lorsque les étais deviennent trop faibles, ils sont pressés par le poids des roches sus-jacentes (qui n'ont pas moins de 192 mètres d'épaisseur) sur le schiste argileux qui est au-dessous, et celui-ci, par suite de cette compression, cède, et s'ouvre d'espace en espace.

Comme on pouvait s'y attendre, ce n'est point le plancher qui s'élève, mais le plafond qui s'abaisse, et cet effet, appelé un *thrust* par les mineurs dans certains districts de l'Angleterre, doit se produire naturellement partout où le plancher est plus solide que le toit. Or, il arrive ordinairement que le toit est composé de schiste argileux dur, ou quelquefois de grès, roches qui cèdent moins que les fondations, qui souvent consistent en argile ; et, même dans les endroits où les sous-couches argileuses étaient d'abord consistantes, elles s'amollissent bientôt et passent à un état plastique dès qu'elles sont exposées au contact de l'air et de l'eau dans la mine.

Le premier symptôme d'un *creep* (1), dit M. Buddle, est une légère courbure qui apparaît sur le fond de chaque galerie, comme on voit en *a* (fig. 66) ; dès ce moment le plancher continuant à hausser, commence à s'ouvrir, en même temps qu'une fente longitudinale se produit en *b* ; puis les

(1) On appelle ainsi, en terme de mineur, dans certains districts houillers en Angleterre, les espèces d'effondrements qui ont lieu de bas en haut dans certaines exploitations de houille, et dont l'auteur donne ici la description.

(*Note du traducteur.*)

points des bords de rupture atteignent le toit, comme on voit en *c* ; en dernier lieu, les lits exhaussés ferment la galerie

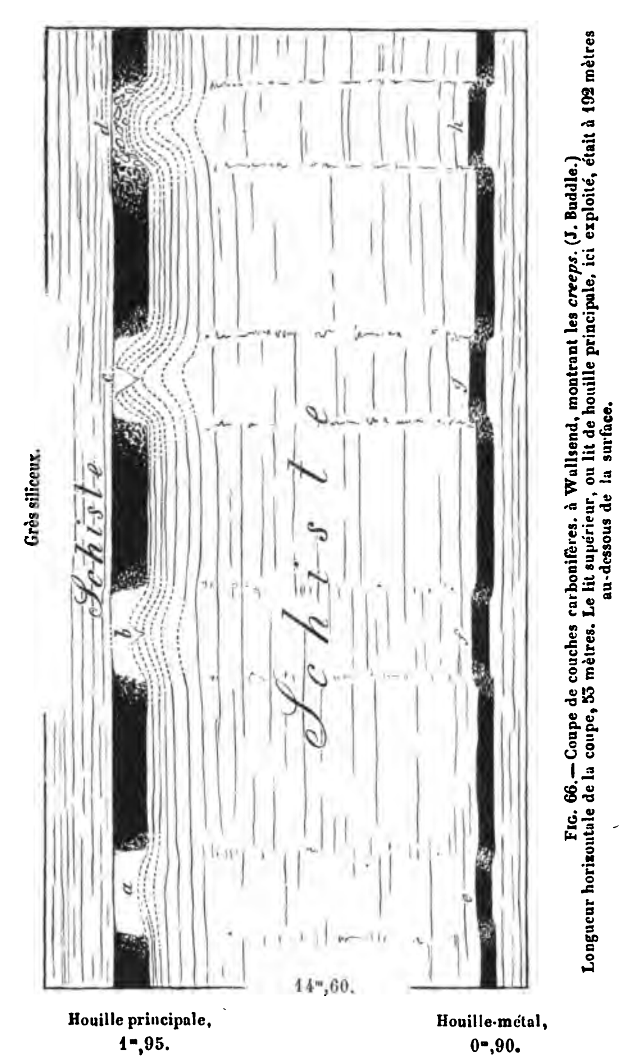


Fig. 66.—Coupe de couches carbonifères, à Wallsend, montrant les *creeps*. (J. Buddle.) Longueur horizontale de la coupe, 33 mètres. Le lit supérieur, ou lit de houille principale, ici exploité, était à 192 mètres au-dessous de la surface.

entière, et les bords de rupture, le long de la crête, se sont de nouveau unis et présentent une surface plane au sommet, comme on voit en *d*. Sur ces entrefaites, la houille des étais

a éclaté et s'est fendue par pression ; on remarque également qu'au-dessous des *creeps a*, *b*, *c*, *d*, une couche inférieure appelée *houille-métal*, d'un mètre d'épaisseur, s'est fendue aux points *e*, *f*, *g*, *h* ; elle a haussé du même coup, en montrant ainsi que le mouvement ascensionnel occasionné par l'exploitation de la *houille principale* s'est propagé à travers les 16 mètres de lits argileux dont l'épaisseur sépare les deux lits de houille. Le même déplacement s'est fait sentir vers le bas, à une profondeur de plus de 45 mètres, à travers des lits argileux qui sont au-dessous de la houille-métal ; mais il devient de moins en moins prononcé et finit par être tout à fait imperceptible.

Le trait le plus saillant du phénomène que nous venons de décrire est la lenteur avec laquelle s'opère le changement dans la distribution des lits : des jours, des mois et même des années, s'écoulent entre le premier symptôme de la flexion du plancher et le moment où le toit est atteint. Sur les points où le mouvement a été plus rapide, la courbure des lits est plus régulière et la réunion des bords fracturés plus complète, tandis que les marques de déplacement ou de violence sont plus accusées sur ceux des *creeps* qui ont mis des mois ou des années pour se produire. Cela nous autorise à conclure que des changements semblables ont pu avoir lieu, sur une plus large échelle, dans la croûte de la terre, par des affaissements partiels et graduels, spécialement sur les points où le sol a été miné pendant de longues périodes, et nous devons éviter d'admettre trop précipitamment que les mouvements se seraient produits avec une soudaine violence, simplement parce que la contorsion des lits serait excessive.

Entre les lits de schiste argileux qui accompagnent la houille, on rencontre quelquefois des feuilles de fougères fossiles, arrangées aussi régulièrement que des plantes sèches entre les feuilles de papier d'un herbier. Ces feuilles de fougères, ou frondes, lorsqu'elles se déposèrent primitivement, durent s'étaler horizontalement sur le limon mou ; si aujourd'hui elles sont, ainsi que les lits de schiste argileux, inclinées

ou placées sur leur tranche, ce ne peut être que par l'effet d'un dérangement subséquent. La preuve en devient frappante lorsque ces couches, renfermant des débris de végétaux, se courbent, se recourbent, ou se replient sous forme de Z, de telle sorte que l'on peut traverser un grand nombre de fois la même couche de houille dans le même puits perpendiculaire. C'est ainsi que, dans le bassin houiller, près de Mons, en Belgique, ces plis en zigzag se répètent quatre ou cinq

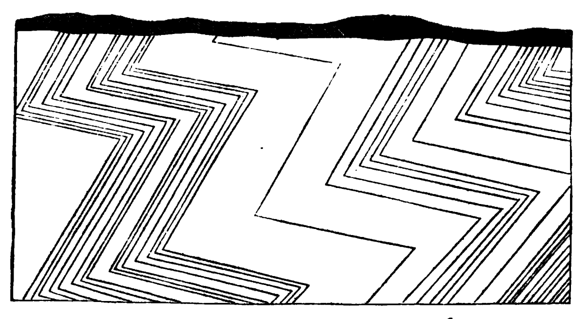


FIG. 67.—Flexions en zigzag de la houille, près de Mons.

fois, comme le fait voir la figure 67, où les lignes noires représentent les lits de houille (1).

Plongement et direction. — Dans les remarques qui précèdent, nous avons employé quelques termes techniques, tels que *plongement*, *stratification discordante*, *lignes anticlinales* et *synclinales*, *direction* des couches ; donnons, sur ces termes, quelques explications. Lorsqu'une couche ou lit de roches, au lieu d'être parfaitement horizontale, incline plus ou moins, on dit qu'elle *plonge ;* le point de la boussole vers lequel elle est inclinée se nomme *point du plongement*, et le nombre de degrés dont elle s'écarte de la ligne horizontale s'appelle *quantité du plongement* ou *angle d'inclinaison*. Ainsi, dans le diagramme ci-contre (fig. 68), on voit l'inclinaison d'une série de couches plongeant au nord sous un angle de 45°.

S. N. 90° 45 0

FIG. 68.

(1) En voir le plan par M. Chevalier ; d'Aubuisson et Burat, t. II, p. 334.

La *direction* est le prolongement ou l'extension des couches dans une direction perpendiculaire au plongement; de là son nom. Par exemple, dans le cas ci-dessus, où les couches plongent au nord, la direction doit être nécessairement est et ouest. Les Anglais ont emprunté, aux géologues allemands, le mot *strike*, par lequel ils désignent la direction : *streichen* signifie s'étendre, avoir une certaine direction. On peut expliquer très justement ces deux termes, *plongement* et *direction*, en se figurant une rangée de maisons allant de l'est à l'ouest. La longueur du faîte du toit représenterait la direction de la couche d'ardoises, dont le plongement serait, d'un côté au nord, et de l'autre au sud.

Une couche qui est horizontale ou de niveau dans toutes les directions, n'a ni plongement ni direction.

Il sera toujours important pour le géologue qui cherche à comprendre la structure et la conformation d'un pays, d'étudier le plongement des couches dans chaque partie de son territoire; il faut quelque pratique toutefois pour éviter de commettre des erreurs, tant sur le point du plongement que sur l'angle d'inclinaison.

Si la surface d'une couche de pierre dure se trouve à découvert, soit dans une carrière, soit au pied d'un rocher battu par les vagues, il est facile de déterminer vers quel point de la boussole la pente est la plus rapide, ou dans quelle direction l'eau viendrait à couler si l'on en versait à la surface. C'est là le véritable plongement. Mais les tranches de couches fortement inclinées peuvent produire des lignes parfaitement horizontales, sur la face d'une roche verticale, si l'observateur voit ces couches suivant la ligne de leur direction, le plongement se dirigeant en arrière de la tranche du rocher, et il faut qu'il découvre, dans le rocher, une rupture qui soit une section exactement perpendiculaire à la ligne de direction, pour reconnaître le véritable plongement. Dans le dessin qui suit (fig. 69), nous supposons un cap dont un côté fait face au nord, et où les lits paraîtraient horizontaux aux yeux d'une personne qui serait placée à distance dans un bateau, tandis

que, de l'autre côté faisant face à l'ouest, un observateur placé sur le rivage verrait le véritable plongement sous un angle de 40°. Si donc nous avons, pour tout champ d'étude, un



FIG. 69.—Horizontalité apparente des couches inclinées.

escarpement vertical qui ne présente qu'un seul côté, il faudra tâcher de découvrir quelque lambeau ou portion de plan de l'un des lits qui s'avance au delà des autres, afin de nous assurer du véritable plongement.

On a rarement besoin de déterminer l'angle d'inclinaison avec une précision telle qu'il faille avoir recours à l'instrument nommé *clinomètre*. On peut mesurer cet angle, à quelques degrés près, de la manière suivante. On se place en face du rocher qui présente le véritable plongement ; on élève les mains à la hauteur des yeux, et l'on tient les doigts de l'une d'elles dans une position perpendiculaire, et ceux de l'autre dans une position horizontale, comme on le voit dans la figure 70. Il est facile alors de découvrir si les lignes des lits inclinés coupent en deux l'angle de 90° formé par la rencontre des mains, de manière à donner un angle de 45°, ou bien si elles divisent l'espace en deux parties plus ou moins égales. La ligne pointillée, supérieure, peut exprimer une couche plongeant au nord ; si les lits

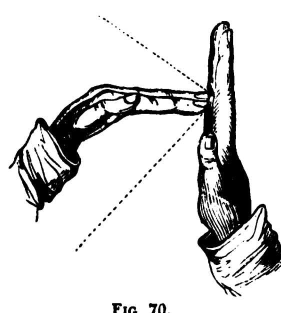


FIG. 70.

plongent précisément vers un point opposé de la boussole, comme l'indique la ligne pointillée inférieure, la mesure de l'inclinaison peut être prise au moyen des mains avec tout autant de facilité.

Lorsque nous avons décrit les couches courbes de la côte est de l'Écosse, dans le Forfarshire et le Berwickshire, on a vu qu'une série de courbures concaves et convexes pouvaient occasionnellement se répéter plusieurs fois. Elles forment ordinairement une série de flexuosités parallèles qui se prolongent dans la même direction sur une étendue considérable. Ainsi, pour le Jura suisse, on a prouvé que cette chaîne élevée se compose de crêtes parallèles, séparées par des vallées longitudinales (fig. 71). Ces crêtes sont formées de couches fossilifères recourbées, dont la nature et le plongement se

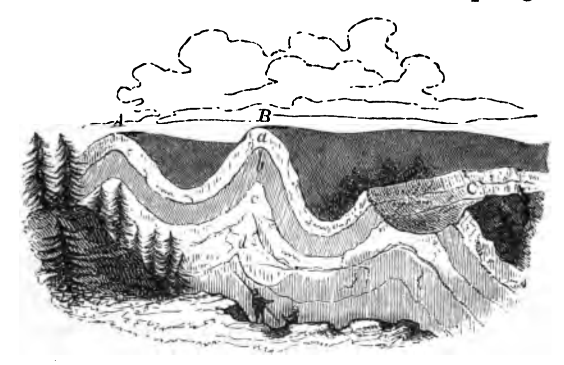


FIG. 71. — Coupe montrant la structure du Jura suisse.

voient quelquefois dans des gorges profondes et transversales nommées *cluses*, qui ont été produites par des fractures perpendiculaires à la direction de la chaîne (1). Supposons maintenant que ces crêtes et ces vallées parallèles courent du nord au sud, nous dirons que la *direction* des couches est nord et sud, et le plongement est et ouest. Les lignes tracées le long des sommets A et B seront des lignes anticli-

(1) Voyez l'ouvrage de M. Thurmann, *Essai sur les soulèvements jurassiques du Porentruy*. Paris, 1832. — J'ai examiné une partie de ces montagnes en 1835, en compagnie de l'auteur.

nales, et celles qui suivent le fond des vallées voisines seront des lignes synclinales. Nous ferons observer que quelques-uns de ces sommets A, B, sont entiers, tandis que l'un d'eux, C, a été fracturé le long de la ligne de direction, et que la dénudation en a fait disparaître une partie, de sorte que les crêtes des lits, dans les formations *a*, *b*, *c*, ont été mises à découvert, ou, comme disent les mineurs, *affleurent* sur les côtés de la vallée. On peut expliquer par un diagramme (fig. 72) le plan d'une des crêtes dénudées, tel qu'on le représenterait dans une carte géologique, et sa section en travers (fig. 73). La ligne D E (fig. 72) est la ligne anticlinale de chaque côté de laquelle le plongement a lieu dans une direction opposée, comme les flèches l'indiquent. L'émergence des couches à la surface du sol a reçu des mineurs le nom d'*affleurement*, et en anglais celui de *basset*.

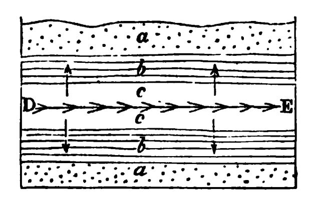


FIG. 72.—Plan horizontal de la crête dénudée C, fig. 71.

FIG. 73.—Coupe transversale.

Si, au lieu d'être plissés en crêtes parallèles, les lits présentaient une protubérance en forme de bosse ou de dôme, si nous supposions aussi que le sommet de ce dôme eût disparu, un plan de ce cas particulier ferait voir les bords des couches formant une succession de cercles ou d'ellipses autour d'un centre commun. Ces cercles seraient les lignes de direction, et le plongement, étant toujours perpendiculaire à la direction, inclinerait tout autour du circuit vers tous les points de la boussole, constituant ainsi ce que les géologues anglais nomment *qua-quaversal dip*, c'est-à-dire : plongement vers tous les points de l'horizon.

Il y a des variations sans nombre dans les figures que décrivent les affleurements des couches, suivant leurs différentes inclinaisons et le mode de dénudation qu'elles ont subi. L'un des cas les plus élémentaires et qui se rencontr le plus souvent, est celui de la forme de V que présentent les

couches qui affleurent dans une vallée ordinaire. D'abord si les couches sont horizontales, la disposition en forme de V sera aussi horizontale, et les couches les plus récentes seront les plus culminantes.

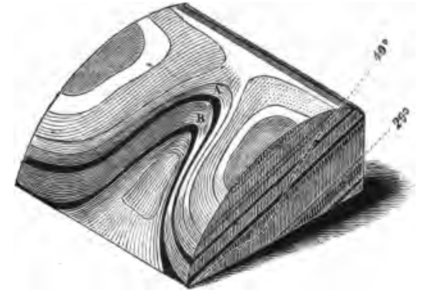


FIG. 74.—Inclinaison d'une vallée à 40°, plongement des couches à 20°.

En second lieu, si les lits sont inclinés et coupés par une vallée descendant dans la même direction, et si l'inclinaison des lits est moins grande que celle de la vallée, les V, comme les appellent souvent les mineurs, viendront joindre vers le haut (fig. 74) ceux qui, formés par les couches les plus récentes, occupent une position supérieure et s'étendent plus haut dans la vallée, comme on le voit dans la figure où A est au-dessus de B.

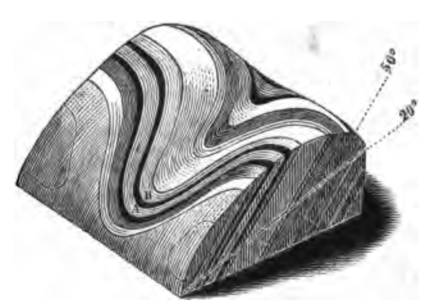


FIG. 75.—Inclinaison d'une vallée à 20°, plongement des couches à 50°.

En troisième lieu, si les couches sont plus inclinées que la vallée, les V pointeront vers le bas (fig. 75), et ceux qui sont formés par les couches les plus anciennes paraîtront supérieurs, ainsi qu'on le voit dans la figure où B est au-dessus de A.

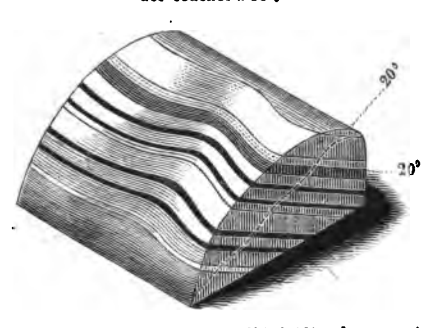


FIG. 76.—Inclinaison d'une vallée à 20°, plongement des couches à 30°; les directions sont opposées.

Enfin, quand les couches plongeront dans une direction contraire à la pente générale de la vallée, quel que soit le degré d'inclinaison, les couches les plus récentes paraîtront les plus élevées, comme dans le premier et le second cas. La dernière hypothèse est représentée par la figure 76 dans laquelle des couches se dressent sous un angle de 20°, et sont traversées par une vallée qui incline dans une direction opposée, sous un angle de 20° (1).

Ces règles peuvent souvent offrir une très grande utilité pratique, car on peut rencontrer les différents degrés d'inclinaison que nous avons représentés dans les figures 74 et 75, en suivant la même ligne de flexion sur des intervalles distants de quelques kilomètres les uns des autres. Un mineur qui ne serait point familier avec tous ces accidents, et qui aurait d'abord exploré la vallée (fig. 74), pourrait creuser un puits vertical au-dessous du lit de houille A, jusqu'à la rencontre du lit inférieur B. Il passerait alors à la vallée (fig. 75), et, découvrant là encore l'affleurement des deux lits de houille, il s'exposerait à commencer des travaux dans le lit supérieur, avec l'espoir d'arriver inférieurement à l'autre lit A dont il aurait observé l'affleurement plus bas dans la vallée. Un seul coup d'œil jeté sur la section fait voir l'erreur dans laquelle il tomberait.

Dans la majorité des cas, un axe anticlinal forme une crête, et un axe synclinal une vallée (A, B, fig. 62, p. 79) ; mais il y a quelques exceptions à cette règle, car les couches inclinent quelquefois vers l'intérieur, aux deux côtés d'une montagne (fig. 77).

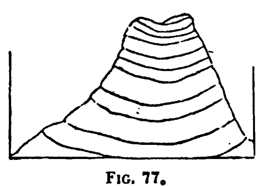


FIG. 77.

(1) Je dois à la bonté de M.-T. Sopwith, les trois modèles que j'ai copiés dans les figures ci-dessus ; mais l'élève ne trouvera pas ces copies aussi faciles à comprendre que s'il pouvait examiner et manier les originaux, et les retourner dans tous les sens ; il en comprendrait mieux les indications ainsi que celles d'autres modèles beaucoup plus compliqués, que le même ingénieur a construits pour démontrer les failles.

En suivant l'une des crêtes anticlinales du Jura, dont il a été question précédemment (ABC, fig. 71), on aperçoit souvent des ruptures longitudinales et quelquefois de larges fissures, vers les points où la flexion est la plus considérable. Quelques-unes de ces solutions de continuité ont été converties, par la dénudation, en vallées d'une grande étendue (C, fig. 71) qui suivent la ligne générale de direction, et sont supposées avoir été produites à une époque où les roches étaient encore au-dessous du niveau de la mer, ou peut-être à l'époque de leur émergence graduelle du fond des eaux. L'existence de ces ruptures, au point où la courbure des couches solides de calcaire est la plus aiguë, est toute naturelle ; mais l'absence, dans quelques cas, de traces semblables de rupture, même sur les points où la flexion a été la plus forte, comme en *a* (fig. 71), n'est pas toujours facile à expliquer. Il faut supposer que plusieurs couches de calcaire, de *chert*, ou d'autres roches, qui sont maintenant rigides, étaient flexibles lorsqu'elles ont été pliées sous leur forme actuelle. Elles ont pu devoir leur flexibilité, en partie à la matière fluide qu'elles contenaient dans leurs pores les plus ténus, comme nous l'avons expliqué ci-devant (p. 35), et en partie à l'imbibition de leur masse par l'eau de mer, à une époque où elles étaient encore submergées.

A l'extrémité occidentale des Pyrénées, on remarque de grandes courbures de couches, dans des falaises qui sont composées de marne, de grès et de *chert*. Sur certains points, comme en *a* (fig. 78), quelques-unes des courbures de chert

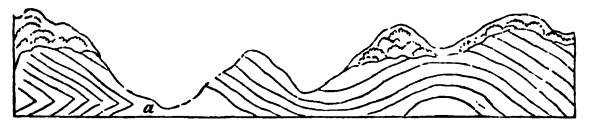


FIG. 78.— Couches de chert, de grit (grès grossier) et de marne, près de Saint-Jean-de-Luz.

siliceux sont si aiguës, que l'on en tire des dalles infléchies servant de tuiles pour couvrir le faîte des toits. Bien que, au moment où il fut amené à cet état de plissement, le chert n'ait pu être aussi rigide qu'aujourd'hui, il présente

néanmoins, çà et là, aux points de la plus grande flexion, de petites crevasses, qui démontrent qu'il était déjà quelque peu solide à l'époque de son déplacement. Ces crevasses ne sont pas vides, mais remplies de calcédoine et de quartz.

Entre San-Caterina et Castrogiovanni, en Sicile, on rencontre des marnes gypseuses courbées et ondulées, contenant çà et là des lits minces de gypse. Quelquefois ces lits ont été brisés en fragments détachés qui conservent leurs bords aigus (*g*, *g*, fig. 79), tandis que la continuité des marnes, plus souples et plus ductiles, n'a pas été interrompue.

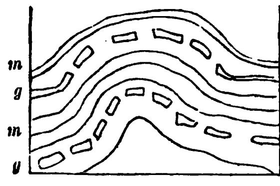


FIG. 79. — *g*. Gypse. — *m*. Marne.

Je terminerai mes remarques sur les couches recourbées, en observant que, dans les régions montagneuses comme les Alpes, il est souvent difficile, même à un géologue expérimenté, de déterminer positivement l'âge relatif des lits par la superposition, les couches étant repliées sur elles-mêmes, et les parties supérieures de la courbure ayant disparu par les effets de la dénudation. Si donc, on rencontrait des couches comme celles représentées dans la section (fig. 80), on pourrait supposer qu'il a existé douze lits distincts, dont le n° 1 serait (fig. 80) le plus nouveau, et le n° 12 le plus ancien. Mais, en réalité, il a pu ne s'en trouver que six qui ont été pliés, comme le fait voir la figure 81, de telle sorte que chacun se présente deux fois ; la moitié de ces lits est renversée, et, dans cette moitié, le n° 1, qui était originairement au sommet, occupe maintenant le point le plus bas dans la

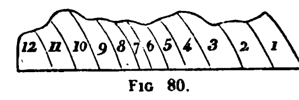


FIG 80.

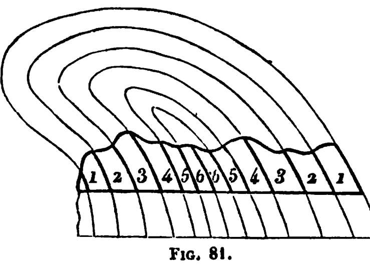


FIG. 81.

série. On observe souvent, et sur une grande échelle, ces sortes de phénomènes dans certaines régions de la Suisse, sur des escarpements qui ont de 600 à 900 mètres de hauteur perpendiculaire.

Dans la vallée de Lutschine, entre Unterseen et Grindelwald, Alpes Iselten (fig. 81), on voit des couches contournées de schiste calcaire qui ont de 300 à 400 mètres de hauteur, et dont les lits plongent quelquefois verticalement jusqu'à une profondeur de 300 mètres et plus avant de se recourber de nouveau (fig. 82). On remarque d'autres courbures qui ne le cèdent en rien, par leurs dimensions, aux précédentes, près de Gavarnie, au pied du mont Perdu, dans les Pyrénées.

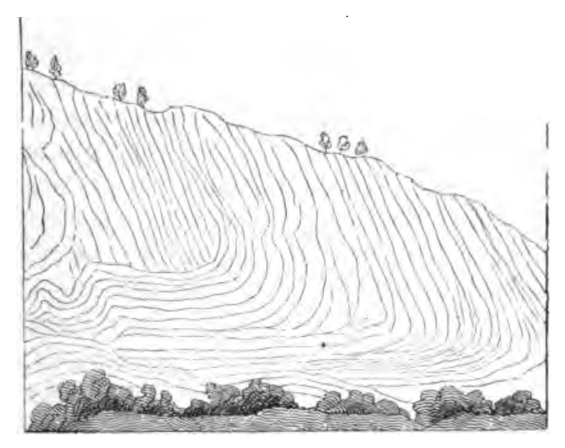


FIG. 82.—Couches contournées des Alpes Iselten.

Stratification discordante. — On dit des couches qu'elles sont discordantes quand une série est placée sur une autre série, de telle sorte que le plan de la partie supérieure repose sur la tranche de la partie inférieure (fig. 83). Dans ce cas, il est évident qu'une période quelconque s'est écoulée entre la formation des deux séries, et que, durant cet intervalle, la plus ancienne ayant été bouleversée, la série supérieure s'est ensuite déposée en couches horizontales. Si les lits supérieurs *d*, *d* (fig. 83) sont également inclinés, il est clair que les couches inférieures *a*, *a*, ont été déplacées deux fois :

d'abord avant le dépôt des lits nouveaux *d*, *d*, ensuite à l'époque où ces lits ont été rejetés eux-mêmes de leur position horizontale.

Playfair a remarqué (1) que cette sorte de stratification avait déjà été décrite avant le temps de Hutton, mais que

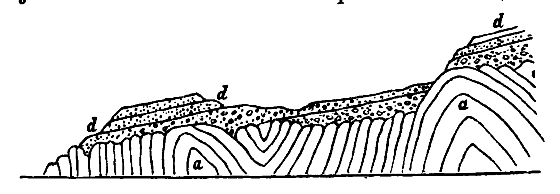


FIG. 83.—Jonction discordante du vieux grès rouge et du schiste silurien au Siccar-Point, près de Saint-Abb's Head, Berwickshire. (Voyez aussi le frontispice.)

ce savant a, le premier, apprécié son importance pour la démonstration de la haute antiquité et des grandes révolutions du globe. Hutton avait observé que, partout où ces contacts avaient lieu, les lits inférieurs de la nouvelle série consistaient généralement en brèches ou conglomérats composés de fragments angulaires et arrondis, provenant de la destruction de roches plus anciennes. Un jour, le géologue écossais conduisit ses deux illustres élèves Playfair et sir James Hall aux falaises situées sur la côte orientale d'Écosse, près du village de Eyemouth, non loin de Saint-Abb's Head, à un point où les schistes de la chaîne de Lammermuir sont minés vers leur base et déchiquetés par la mer. Les couches infléchies et verticales, que l'on sait maintenant appartenir au Silurien, et qui montrent souvent une surface ondulée, se voient très bien au cap appelé Siccar-Point ; leurs tranches pénètrent dans des lits sus-jacents d'un grès légèrement incliné, dans lequel de grands morceaux de schiste, les uns arrondis et d'autres angulaires, sont unis par un ciment arénacé. « Quelle preuve plus évidente, s'écrie Playfair, de la formation distincte de ces roches, et du long intervalle qui a séparé les deux formations, que celles que nous donnent ces roches aujourd'hui sorties du fond des

(1) *Biographical account of Dr Hutton.*

abîmes? Nous nous trouvons nécessairement transportés en arrière vers le temps où le schiste sur lequel nous reposons était encore au fond de la mer, et où le grès qui se montre à nos yeux commençait à se déposer dans les eaux de l'Océan, sous forme de sable et de sédiment.

« Une époque encore plus reculée apparaît naturellement à notre imagination, c'est celle où, même les plus anciennes de ces roches, au lieu d'être en lits verticaux, étaient étendues horizontalement au fond de la mer et n'avaient pas encore été agitées par cette force incommensurable qui a bouleversé toutes les parties solides du globe. Des révolutions de plus en plus éloignées se déroulent dans cette immense perspective; notre esprit est frappé de vertige lorsqu'il plonge aussi loin dans l'abîme du temps; et, tandis que nous écoutons avec cœur et admiration le philosophe qui développe devant nous l'ordre et les séries de ces immenses événements, nous nous apercevons combien, dans l'interprétation des phénomènes, la raison peut aller plus loin encore que l'imagination (1). »

Au frontispice de ce volume, nous avons donné une vue de cet endroit classique, réduite d'après un grand tableau magnifiquement peint d'après nature, par le plus jeune fils de sir James Hall. Il a été impossible de rendre exactement, par une gravure, la peinture originale, car le contraste du grès rouge et de la couleur fauve clair des schistes verticaux ne pouvait être reproduit. Du point de vue choisi, les lits au-dessous des schistes perpendiculaires *a* sont visibles en *b* par une petite ouverture qui existe à travers les lits fracturés du grès rouge *d d* superposé, tandis que, sur le côté vertical du schiste ancien *a' a''*, on observe de remarquables ondulations.

Il arrive souvent que, durant l'intervalle qui s'écoule entre le dépôt de deux groupes de couches discordantes, la roche inférieure a été non-seulement dénudée, mais encore perforée par des coquilles. Ainsi, à Autreppe et à Gusigny, près de

(1) Playfair, *Biogr. acc. of Dr Hutton*. Voyez ses Œuvres, Edinb., 1822, vol. IV, p. 81.

Mons, on voit des lits anciens de calcaire primaire ou paléozoïque fortement inclinés et souvent recourbés, qui sont couverts de couches horizontales de marnes grisâtres et blanchâtres, d'une formation crétacée. Le lit inférieur, et conséquemment le plus ancien de la série horizontale, est ordinairement formé de sable et du conglomérat *a*, dans lesquels se trouvent des galets de 25 à 30 centimètres de diamètre. Ces galets présentent souvent des coquilles qui adhèrent à leur surface, ou bien ils sont percés par des mollusques perforants. La couche superficielle du calcaire inférieur a été également trouée, et montre des cavités cylindriques en forme de poires, comme dans C (fig. 84) ; ces cavités ont été produites par les mollusques saxicaves. Diverses fissures,

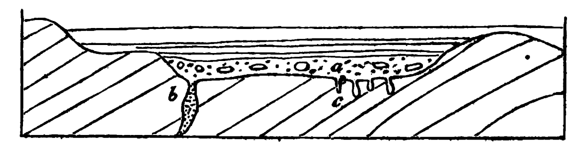


FIG. 84. — Jonction discordante des couches, près de Mons en Belgique.

comme en *b*, qui descendent à plusieurs décimètres ou même à quelques mètres dans le calcaire, ont été remplies aussi de sable et de coquilles semblables à celles qui se trouvent dans la couche *a*.

Fractures des couches et failles. — On observe souvent de nombreuses crevasses dans des roches qui paraissent n'avoir été que fracturées, et dont les parties séparées conservent leurs rapports mutuels ; mais on rencontre aussi fréquemment telle fissure de plusieurs centimètres, ou même de plusieurs mètres de longueur, qui est remplie de terre et de sable ou de fragments angulaires, provenant évidemment des rochers contigus.

Il n'est pas rare non plus de trouver une masse rocheuse qui chevauche sur l'un des côtés d'une fissure, au-dessus ou au-dessous de la masse avec laquelle elle était autrefois en contact régulier. Ce déplacement se nomme *glissement* ou *faille*. « Le mineur, dit M. Playfair, en décrivant une

faille, est souvent embarrassé dans son voyage souterrain par un dérangement dans les couches, qui le met tout à coup en déroute au milieu des jalons et supports qui avaient jusque-là dirigé sa course. Quand la mine qu'il a pratiquée parvient à un certain plan perpendiculaire comme dans AB (fig. 85), ou oblique à l'horizon comme dans CD (fig. 85), il rencontre des lits brisés ; ceux de l'un des côtés du plan ont changé de place, en glissant, suivant une direction particulière, contre les autres lits. Malgré ce mouvement, les lits ont quelquefois conservé une position normale, comme dans la figure 85, et les couches de chaque côté

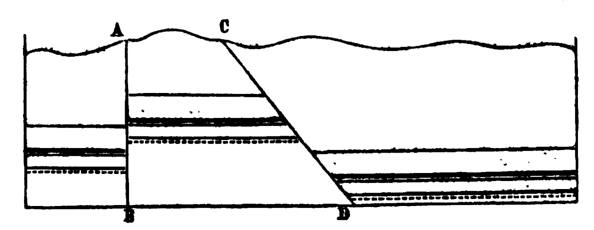


FIG. 85. — Failles : AB, perpendiculaire ; CD, oblique à l'horizon.

des failles AB, CD, se continuent parallèlement les unes aux autres ; dans d'autres cas, les couches se sont inclinées de chaque côté, comme dans *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 86), et cependant

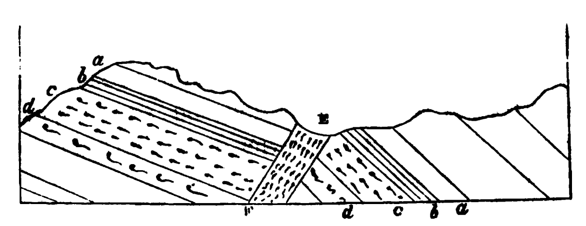


FIG. 86. — EF, faille ou fente remplie de débris, de chaque côté de laquelle les couches inclinées ne sont point parallèles.

leur identité subsiste encore, car elles possèdent la même épaisseur et les mêmes caractères intérieurs (1). »

A Coalbrook Dale, dit M. Prestwich (2), des dépôts de

(1) Playfair, *Illustr. of Hutton Theory*, § 42.
(2) *Geolog. Trans.*, 2e série, vol. V, p. 452.

grès, de schiste argileux, de houille, qui s'élèvent sur une épaisseur de plusieurs centaines de mètres, et s'étendent sur une surface de plusieurs kilomètres, ont été brisés en fragments qui ont été ensuite poussés dans des positions tout à fait discordantes, et souvent à des niveaux qui diffèrent de plusieurs centaines de mètres les uns des autres. Les côtés des failles, lorsqu'ils sont perpendiculaires, sont habituellement séparés de plusieurs mètres, quelquefois de plus de 40 mètres chacun, et les intervalles sont remplis de débris brisés des couches. En suivant la direction d'une faille, on remarque parfois, sur ses différents points, des variations très inégales de niveau : la différence est, sur tel point, de 90 mètres, sur tel autre de 200 mètres ; ces variations proviennent, dans quelques cas, de la jonction de deux ou plusieurs failles. En d'autres termes, les couches disjointes ont été, dans de certains districts, soumises à des mouvements répétés qu'elles n'ont point subis ailleurs.

On rencontre, dans certaines carrières de sable meuble et de gravier, des exemples de glissements tout à fait semblables, quoique sur une plus petite échelle. La plupart ont été occasionnés par le desséchement et la contraction de couches argileuses et autres, et de légers affaissements sont résultés du défaut de support ; quelques-uns, cependant, ont pu se produire pendant les tremblements de terre, car la terre a été agitée, et son niveau, relativement à celui des mers, a changé considérablement durant la période où s'est déposée une grande partie du sable et du gravier d'alluvion qui recouvrent aujourd'hui la surface des continents.

J'ai déjà montré que, dans un pays où les couches sont bouleversées, le géologue devait bien se garder de considérer comme des alternances répétées de roches la disposition de certaines couches, jadis continues, mais qui ont été recourbées de manière à revenir plusieurs fois avec le même plongement et avec la même coupe. La présence d'une série de failles a souvent occasionné de semblables erreurs ; avec un peu d'expérience, il sera facile de les éviter.

Supposons, par exemple, que la ligne AH (fig. 87) représente la surface d'un pays où les couches A, B, C, affleurent à de fréquents intervalles ; un observateur, s'il s'avance de H vers A, pourra s'imaginer d'abord qu'il rencontre à chaque

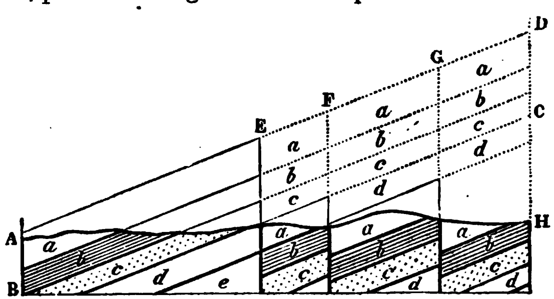


FIG. 87. — Alternances apparentes de couches, dues à des failles.

pas des couches nouvelles, tandis qu'il y a seulement une répétition des mêmes lits, causée par des affaissements ou failles verticales. Admettons qu'à l'origine, la masse A B C D ait été une suite des couches inclinées, et que les différentes masses EF, FG et GD se soient affaissées successivement, de manière à laisser vides les places marquées par les lignes ponctuées et à remplir celles qui sont indiquées par les lignes pleines, mais faiblement marquées. Admettons ensuite qu'une dénudation se soit opérée le long de la ligne AH, de telle sorte que les masses représentées par les lignes plus faibles aient disparu ; un mineur qui n'aura pas aperçu les failles, pourra s'imaginer, en rencontrant la masse *a* (que nous supposerons être un lit de charbon se répétant quatre fois) qu'il a trouvé quatre lits exploitables jusqu'à une profondeur indéfinie ; mais dès qu'il arrivera à la faille G, il se trouvera soudainement arrêté dans ses travaux ; il ne rencontrera plus que des couches de grès *c* ; en atteignant la ligne de faille F, il se placera en partie sur le schiste *b* et en partie sur le grès *c* ; enfin, en arrivant à E, il sera encore arrêté par le mur de la roche *d*.

Les différences de niveau que présentent les parties séparées des couches, sur les côtés d'une faille, sont vraiment

quelquefois extraordinaires. L'un des cas les plus célèbres, en Angleterre, est, sans contredit, celui que l'on nomme le *ninety fathom dyke* dans le district houiller de Newcastle. On lui a donné ce nom, parce que les lits correspondants sont de quatre-vingt-dix brasses (164 mètres) plus bas au nord qu'au sud. L'intervalle de la fissure a été comblé par un amas de sable qui, passé maintenant à l'état de grès, a reçu le nom de *dyke;* ce dyke, généralement très étroit, a cependant, sur de certains points, plus de 20 mètres de largeur (1). Les parois de la faille sont sillonnées de rainures telles qu'auraient pu en produire des fragments de roche fortement frottés le long des plans de la fissure (2).

Dans les failles de Tynedale et de Crawen, au nord de l'Angleterre, le déplacement vertical a été plus considérable; la fracture s'est propagée horizontalement jusqu'à une distance de 45 kilomètres et plus. Quelques géologues ont imaginé que le mouvement vers le haut ou vers le bas se serait accompli d'un seul coup et non par une suite de chocs subits et interrompus. Cette idée semble déduite de ce que les rainures suivent une seule direction. Mais ce fait est si loin d'être constant dans les failles, que l'on a souvent objecté à la théorie adoptée pour ces surfaces polies nommées *surfaces de glissement* (*slickensides*), que les stries étaient souvent courbes et irrégulières. De plus, on a remarqué que non-seulement les parois, mais aussi le contenu de la faille, présentaient les mêmes surfaces polies et striées. Or, ces circonstances semblent indiquer des changements partiels dans la direction du mouvement et dans les glissements qui ont suivi le premier remplissage de la fissure. Supposez la masse de roche A B C (fig. 88) recouvrant l'espace vide considérable *d e* formé à une profondeur de plusieurs kilomètres, soit par la contraction graduelle d'une matière fondue, liquéfiée, dans son passage à l'état solide ou cristallin, soit par le retrait de

(1) Conybeare and Phillips, *Outlines*, etc., p. 376.
(2) Phillips, *Geology*, Lardner's Cyclop., p. 41.

couches argileuses cuites sous l'influence d'une chaleur modérée, soit enfin par une soustraction de matière résultant d'une action volcanique ou de toute autre cause. Que des tremblements de terre viennent ensuite agiter ces régions, les fissures *f*, *g*, pourront séparer, de A et de C, la masse B qui, libre de se mouvoir, commencera immédiatement à descendre dans l'espace vide *d e*. On est certainement en droit d'admettre

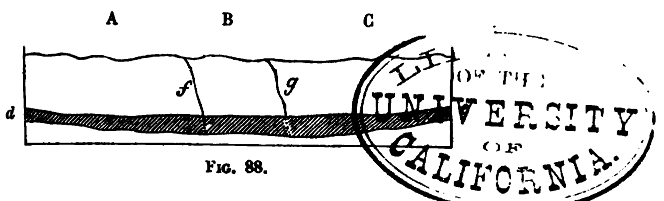


Fig. 88.

qu'une fracture soit assez nette et assez complète pour que la masse B puisse pénétrer d'un seul coup au fond de la cavité souterraine ; mais il est bien plus probable qu'elle ne s'enfoncera que par intermittence et par suite de tremblements successifs ; la masse continuera de glisser, dans la mêmè direction, le long des parois des fissures *f*, *g*, et ses bords se briseront et se tritureront de plus en plus à chaque nouvelle convulsion. Si, comme cela n'est pas improbable, les circonstances qui ont occasionné la chute du support continuent leur action, il pourra bien se faire qu'une fois la cavité première remplie par la masse B, ses fondations s'écroulent de nouveau sous elle, et qu'elle descende encore dans la même direction. Mais, si cette direction venait à changer, on ne pourrait constater le fait par les *glissements*, parce que le dernier frottement aurait effacé les traces du frottement précédent. Dans l'ignorance où nous sommes actuellement des causes d'affaissement, une hypothèse qui, s'appuyant sur les principes rigoureux de la mécanique, peut rendre compte, par une succession des mouvements, des énormes déplacements observés dans quelques failles, est de beaucoup préférable à celle qui montre chaque faille comme le résultat d'une seule secousse ou d'un abaissement subit de plusieurs milliers de mètres.

Nous savons d'ailleurs qu'il se passe de nos jours, à de grandes profondeurs dans l'intérieur du globe, des actions par suite desquelles de certaines étendues de terre s'élèvent au-dessus de leur premier niveau, que ces phénomènes s'accomplissent, les uns lentement et insensiblement, les autres subitement et par secousses, mais à raison de quelques centimètres ou de quelques mètres à la fois ; il n'y a donc aucune raison de penser que, pendant les 3000 ans qui nous ont précédés, telles régions aient été élevées ou abaissées d'un seul coup de plusieurs centaines et encore bien moins de plusieurs milliers de mètres.

Lorsque nous en serons à la description des formations marines anciennes, l'examen de leur structure et des corps organiques qu'elles contiennent nous fera reconnaître qu'à l'époque de leur origine, le lit de l'Océan s'abaissait lentement. Ce mouvement d'abaissement a été tout à fait graduel, et, dans les Galles ainsi que dans les parties de l'Angleterre contiguës à ce dernier pays, il s'est formé une épaisseur de plus de 9 kilomètres de roches carbonifères, dévoniennes et siluriennes, pendant que le lit de la mer s'abaissait tranquillement et d'une manière continue (1).

Quelle que soit la nature des changements que le sol a subis, que ces changements aient été accompagnés de fusion, de consolidation, de cristallisation ou de dessiccation des matières minérales sous-jacentes, il est incontestable que le fond de la mer, dont les eaux ont été constamment basses, n'a jamais baissé subitement de plusieurs centaines de mètres d'un seul coup.

C'est en tenant compte des variations répétées de niveau qui, considérées séparément, ont été d'une faible quantité, mais qui, multipliées par le temps, ont pu acquérir de l'importance dans leur ensemble, que nous parviendrons à comprendre les phénomènes de dénudation dont nous allons

(1) Voyez les résultats du *Geological Survey of Great Britain*, Mémoires, vol. I et II, par sir H. de la Bèche, M. A.-C. Ramsay et M. John Phillips.

traiter dans le prochain chapitre. Par suite de ces mouvements, chaque portion de la surface de la terre, devenue tour à tour ligne de côtes, s'est trouvée exposée à l'action des flots et des marées. Une région soumise à ces sortes d'oscillations ne peut jamais arriver à un état complet d'équilibre, car l'action qu'exercent les rivières et les torrents pour remuer et excaver le sol et les masses rocheuses est incessante dans son énergie.

CHAPITRE VI.

DÉNUDATION.

Définition de la dénudation. — La quantité de dénudation égale la masse entière des dépôts stratifiés de la croûte terrestre. — Dénudation du grès horizontal, dans le Ross-shire. — Surface nivelée de certaines contrées où de grandes failles se rencontrent. — Coalbrook Dale. — Pouvoir de dénudation de l'Océan pendant l'émersion des terres. — Origine des vallées. — Oblitération des escarpements marins. — Falaises marines, à l'intérieur des terres, et terrasses, en Morée et en Sicile. — Piliers calcaires à Saint-Mihiel en France. — Au Canada. — Aux Bermudes.

La dénudation, dont il a été accidentellement question dans les chapitres précédents, consiste en un déplacement de la matière solide par l'eau en mouvement (eau des fleuves, vagues et courants de la mer), et, par conséquent, dans la mise à nu de certaines roches sous-jacentes. Les géologues ont peut-être tenu trop peu compte de cette action, dont l'influence sur la structure de l'écorce terrestre n'a pas été moins importante, moins universelle que la sédimentation même ; car la dénudation contribue invariablement à la production de toutes nouvelles couches d'origine mécanique. La formation de chaque nouveau dépôt par le transport de sédiment et de cailloux roulés, prouve nécessairement qu'il s'est opéré, en tel ou tel endroit, une désagrégation de la roche, en fragments arrondis, sable ou limon, égale en quantité aux couches nouvelles. Tout dépôt, donc, sauf le cas de formation par une pluie de cendres volcaniques, indique une désagrégation superficielle sur un point quelconque, et ailleurs un accroissement correspondant. Le gain constaté d'un côté équivaut à la perte éprouvée de l'autre. Ici les eaux d'un lac ont baissé, là un ravin s'est profondément creusé; sur tel point le lit de la mer s'est élevé par accumulation de matières nouvelles, sur tel autre sa profon-

deur a augmenté par suite de soustractions tout aussi considérables.

Un édifice éveille naturellement en nous l'idée de la carrière qui en a fourni les pierres ; eh bien ! les assises de cet édifice peuvent se comparer aux couches successives, et la carrière à un ravin ou à une vallée dénudée : si les couches sédimentaires ont été, comme les lits de pierres, déposées graduellement les unes au-dessus des autres, de même aussi l'excavation de la vallée et celle de la carrière ont eu lieu graduellement. Pour pousser encore plus loin la comparaison, assimilons les monticules de limon, de sable et de gravier, habituellement nommés *alluvium*, aux débris de carrières, rejetés comme inutiles par les ouvriers, ou qui, tombés sur la route, entre la carrière et la construction, gisent dispersés çà et là sur le sol.

Si donc la masse des dépôts stratifères dans la croûte terrestre peut servir à la fois de monument et de mesure de la dénudation qui s'est produite, sur quelle immense échelle ne doivent pas se présenter les traces de ce déplacement de matières ainsi transportées dans les âges anciens !

Différentes classes de phénomènes attestent, de la manière la plus frappante, l'étendue des surfaces mises à nu par la force érosive de l'eau. Je citerai d'abord les vallées sur les deux versants desquelles les mêmes couches se suivent dans le même ordre, avec la même composition minéralogique et les mêmes fossiles. C'est ainsi que la figure 89 nous présente un exemple où plusieurs formations : n° 1, conglomérat ; n° 2, argile ; n° 3, grès ; n° 4, calcaire, se reproduisent dans une série de collines séparées par des vallées de profondeur variable.

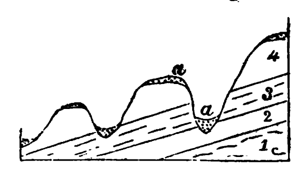


FIG. 89. — Vallées de dénudation. *a*. Alluvium.

Lorsqu'on examine les parties subordonnées de ces quatre formations, on reconnaît dans chacune d'elles des lits distincts qui, par leur composition et par leur ordre, se correspondent sur les côtés opposés des vallées. Sans aucun

doute, ces couches ont été primitivement continues, et quelque cause a emporté les portions qui reliaient autrefois la série. Un torrent qui se précipite sur le versant d'une montagne produit de semblables solutions de continuité, et lorsqu'on pratique des terrassements pour le nivellement des routes, on met à découvert des lits qui se correspondent ainsi de chaque côté des tranchées. La seule différence est que, dans la nature, ces phénomènes se produisent au sein de montagnes qui ont plusieurs milliers de mètres d'élévation, et qui sont séparées les unes des autres par des intervalles de plusieurs kilomètres d'étendue.

Le docteur Macculloch en a décrit un magnifique exemple sur la côte nord-ouest du Ross-shire, en Écosse (1). La roche fondamentale de cette contrée (fig. 90) est un gneiss en couches disloquées sur lesquelles reposent, en stratification discordante, des lits presque horizontaux de grès rouge. Ces

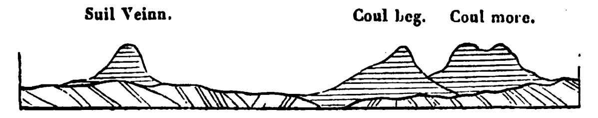


FIG. 90. — Dénudation du grès rouge, sur la côte nord-ouest du Ross-shire. (Macculloch.)

lits sont souvent très minces, et forment de véritables nappes à surface distinctement ondulée. Ils se terminent d'une manière abrupte sur les flancs de plusieurs montagnes isolées qui s'élèvent jusqu'à 600 mètres au-dessus du gneiss de la plaine environnante, et jusqu'à 900 mètres au-dessus de la mer, hauteur à laquelle atteignent presque tous leurs sommets. Quant à l'élévation de la base du gneiss, elle varie assez pour que les portions inférieures du grès occupent différents niveaux. L'épaisseur de la masse est variable aussi, et dépasse quelquefois 900 mètres.

Il est impossible de voir ces parties éparses et détachées, sans supposer que toute la contrée a été couverte autrefois d'une immense enveloppe de grès, et que des masses épaisses

(1) *Western Islands*, vol. II, p. 93, pl. 31, fig. 4.

de 300 à 900 mètres ont été emportées. Dans le *Survey of Great Britain* (vol. I), le professeur Ramsay a montré que les lits enlevés sur les sommets des collines de Mendip ont dû avoir près de 1 500 mètres d'épaisseur. Il a signalé des espaces considérables, dans le sud du pays de Galles et dans quelques-uns des comtés adjacents d'Angleterre, où des séries de couches primaires (ou paléozoïques) qui n'avaient pas moins de 3350 mètres d'épaisseur, ont été complétement enlevées, et dont les débris, transportés successivement vers de nouvelles régions, sont entrés dans la composition de formations plus modernes. D'un autre côté, il est démontré, dans le même ouvrage, que les couches paléozoïques ont de 6000 à 9000 mètres d'épaisseur. Évidemment, de telles roches, formées de limon et de sable, et maintenant en grande partie consolidées, sont les monuments d'actions dénudantes qui se sont produites sur une grande échelle, à une époque très reculée de l'histoire de la terre. Or, tout ce qui s'est répandu sur une surface n'a pu être emprunté qu'à une autre surface ; c'est là une vérité dont l'évidence frappe les yeux, et qu'on ne saurait trop graver dans l'esprit de l'élève, bien qu'on admette, dans certains systèmes géologiques, que la croûte extérieure de la terre a toujours augmenté d'épaisseur par l'accumulation d'âge en âge de la matière sédimentaire, comme si les nouvelles couches n'étaient pas toujours produites aux dépens de roches préexistantes, stratifiées ou non stratifiées.

En réfléchissant mûrement sur ce fait, que tout dépôt d'origine mécanique implique le transport d'une quantité égale de matière solide provenant de quelque autre région, on conçoit comment la portion pierreuse extérieure de notre planète a dû, dans tous les temps, s'amincir sur tel point, et augmenter d'épaisseur sur tel autre. Il est vrai que le vide laissé par les roches disparues après une profonde dénudation saisit moins l'imagination qu'une vaste épaisseur de conglomérat ou de sable, ou bien la présence d'une chaîne de montagnes avec toutes leurs couches inclinées et courbées ;

mais ces surfaces dénudées parlent à notre raison un langage qui a bien aussi sa clarté et son éloquence : et, de même que les lits répétés de nummulites, de coraux ou de coquilles fossiles, de même que les nombreux lits de houille reposant sur leur base d'argile remplie de racines d'arbres encore dans leur position naturelle, de même les phénomènes de dénudation témoignent de l'infinité du temps employé à les produire.

Personne ne met en doute que les fossiles ensevelis dans toutes ces sortes de roches appartiennent à plusieurs générations successives de plantes et d'animaux. Chaque dépôt sédimentaire atteste donc également une action lente et graduelle, et les couches servent non-seulement à mesurer la quantité de dénudation effectuée dans le même temps sur un autre point, mais encore à indiquer avec exactitude l'étendue des surfaces dénudées.

Ce sont peut-être les surfaces unies des districts où l'on remarque de larges failles qui fournissent les témoignages les plus manifestes de dénudation sur une large échelle. J'ai montré (fig. 87 et 91) comment on avait pu rencontrer des masses angulaires de roches sur les surfaces placées immé-

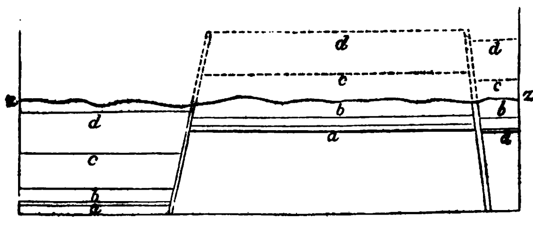


Fig. 91. — Failles et couches houillères dénudées, Ashby de la Zouch. (Mammatt.)

diatement au-dessus de grandes failles; bien qu'en réalité le fait se présente rarement, on peut cependant l'observer facilement dans certaines localités où la houille a été exploitée sur une vaste étendue, les rapports primitifs de couches qui ont changé de position pouvant y être déterminés avec une grande exactitude. Prenons-en pour exemple le bassin houiller de Ashby de la Zouch, dans le Leicestershire (fig. 91) : on y

voit une faille sur l'un des côtés de laquelle les lits de houille *a*, *b*, *c*, *d*, s'élèvent à la hauteur de 150 mètres au-dessus des lits qui leur correspondent de l'autre côté. On en pourrait conclure que les couches qui occupent le niveau supérieur font une saillie de 150 mètres au-dessus de la surface générale du pays; il n'en est rien, et la ligne *zz* qui l'exprime prouve au contraire qu'elle est uniformément ondulée et sans aucune brisure; quant à la masse indiquée par la ligne ponctuée, elle a dû être emportée (1). On rencontre des exemples analogues dans quelques contrées plates, où des masses épaisses de couches ont été enlevées sur des étendues de plusieurs centaines de kilomètres carrés. Dans le district houiller de Newcastle, on a constaté des failles dans lesquelles le mouvement d'élévation et d'abaissement n'a pas été moindre de 250 mètres; ces failles, si elles eussent affecté proportionnellement la configuration générale de la surface, auraient produit des montagnes avec des escarpements abrupts de près de 300 mètres d'élévation, ou des abîmes d'une égale profondeur, tandis que le niveau actuel de la contrée est resté tout à fait uniforme, et ne présente aucune trace de mouvements souterrains (2).

Le sol auquel ces matières ont été arrachées offre généralement, à sa surface, des monticules de sable et de gravier formés des débris des roches qui ont disparu. Dans les districts mentionnés plus haut, ces monticules sont composés de fragments anguleux ou arrondis de grès dur, de calcaire, de minerai de fer, de schistes friables en petite quantité, et même de morceaux de houille.

Il a déjà été question de la dislocation et de la discordance des couches carbonifères à Coalbrook Dale (page 99). Le mineur ne peut y avancer de trois ou quatre mètres sans rencontrer de petits glissements, et de temps à autre, des failles considérables qui ont déplacé les roches de quelques

(1) Voyez *Geological facts*, etc., par Mammatt, p. 90 et pl.

(2) *Report to Brit. Assoc.*, par Conybeare, 1842, p. 381.

centaines de mètres en hauteur ou en profondeur. Pourtant on ne distingue plus les inégalités superficielles auxquelles ces masses disloquées ont dû primitivement donner naissance, et l'état relatif de nivellement de la surface ne peut aujourd'hui s'expliquer, comme l'observe M. Prestwich, qu'en supposant un enlèvement des portions fracturées par les eaux. Il est clair aussi que les couches de grès rouge, d'une épaisseur de plus de 330 mètres, qui, dans le même pays, couvraient autrefois la houille, ont été emportées sur de larges surfaces. Que l'eau ait été l'agent de dénudation, nous ne saurions en douter, les roches ayant cédé proportionnellement à leurs différents degrés de dureté ; le trapp dur du Wrekin et d'autres collines a, par exemple, résisté plus que les schistes ou les grès tendres, et subsiste encore aujourd'hui avec son relief primitif (1).

Origine des vallées. — Plusieurs anciens géologues, et, parmi eux, le docteur Hutton, ont pensé que *les rivières avaient en général creusé leurs propres vallées.* Cela est vrai, sans aucun doute, s'il est question des petits ruisseaux et des torrents qui alimentent d'importants cours d'eau, et qui, descendant sur des pentes rapides, sont très sujets à des crues ou à des diminutions temporaires. On peut aussi admettre que la quantité de limon, de sable et de cailloux qui constitue un grand nombre de deltas modernes, est assez considérable pour attester qu'une très large portion des inégalités existant aujourd'hui à la surface de la terre est due à l'action fluviatile ; mais les vallées principales, dans presque tous les grands bassins hydrographiques du monde, indiquent, par leur forme et leur étendue, qu'elles n'ont pu être produites par la seule force d'excavation des rivières.

Quelques géologues ont imaginé qu'un déluge, ou une succession de déluges pouvaient avoir été le principal agent de dénudation ; ils ont admis une série de cataclysmes occasionnés par des soulèvements instantanés de continents ou

(1) Prestwich, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. V, p. 452 à 473.

de chaînes de montagnes. Mais en accordant même que de tels soulèvements subits du fond de l'Océan aient eu lieu, et en supposant que de grands cataclysmes aient été la conséquence de chaque convulsion, il n'est pas facile d'expliquer, à l'aide d'une hypothèse aussi gratuite, tous les phénomènes qui frappent nos regards.

Un tout autre ordre d'action paraît, d'ailleurs, avoir été capable de donner lieu à des effets aussi considérables. Nous avons établi précédemment que l'exhaussement ou l'abaissement de portions étendues de la croûte terrestre rentraient dans le cours actuel des choses, de quelque manière que ces phénomènes se soient passés : qu'ils aient été insensibles ou produits par secousses subites et répétées ; il nous est donc facile de comprendre comment la terre a été, pendant ces mouvements, entamée par les flots de la mer. Tout comme les masses de montagnes qui, durant le cours des âges, peuvent avoir été formées couche par couche et par sédimentation, d'autres masses non moins volumineuses ont pu, dans le même temps, être entraînées millimètre par millimètre. Tel serait le cas, par exemple, où des lits de matières incohérentes se seraient élevés lentement dans une mer ouverte et exposée à de forts courants. On sait que certains courants de l'Océan ont jusqu'à 300 kilomètres et plus de largeur, parfois une longueur de plusieurs milliers de kilomètres, et qu'ils conservent une rapidité considérable, même à la profondeur de quelques centaines de mètres. Dans de telles conditions, les eaux courantes peuvent avoir usé, emporté des couches de matières incohérentes, à mesure qu'elles s'élevaient et se rapprochaient de la surface où les flots agissaient avec le plus de force ; des dépôts volumineux purent être aussi totalement entraînés, de telle sorte qu'en l'absence de faille, il n'existe plus aujourd'hui aucune preuve de dénudation. Il est donc permis d'affirmer que le travail de destruction a laissé d'autant moins de traces qu'il a été plus complet, car l'anéantissement de certaines masses a dû être tel qu'on ne rencontre même plus les ruines des roches qui les composèrent jadis.

Bien que la dénudation ait eu pour résultat de niveler certaines régions composées de couches disloquées et brisées (fig. 87, p. 101, et fig. 91, p. 110), elle a plus habituellement produit des inégalités de surface, spécialement dans les contrées où la stratification est horizontale. La configuration générale de ces contrées est celle de plates-formes unies, interrompues par des vallées souvent d'une profondeur considérable, et qui se ramifient dans diverses directions. Ces anfractuosités ont dû former autrefois des baies et des chenaux entre des îles, et le plus abrupt des côtés de chaque vallée a dû être une falaise que les eaux ont minée pendant des siècles, dans le même temps où la terre émergeait graduellement du fond de l'Océan. On peut supposer que la place et la direction de chaque dépression ont été primitivement déterminées par les différences de dureté des roches, et par les fissures et joints que l'on rencontre d'ordinaire, même dans les couches horizontales. Dans les chaînes de montagnes telles que le Jura (fig. 71, p. 89), on peut admettre que les vallées principales n'ont point été creusées par les eaux, mais qu'elles sont dues à ces mouvements mécaniques qui ont plié les roches sous la forme qu'elles présentent actuellement; cependant, on y voit des fonds tels que C (fig. 71), qui, évidemment, ont été creusés par l'eau. On peut donc établir que l'inégalité de la surface des terres doit, en général, être attribuée à l'action combinée des mouvements souterrains et de la dénudation.

Je récapitulerai maintenant quelques-unes des conclusions auxquelles nous sommes arrivés : d'abord, toutes les couches de formation mécanique se sont produites par une accumulation graduelle, et la dénudation concomitante n'a pas été moins graduelle elle-même ; en second lieu, la terre ferme d'aujourd'hui se compose, en grande partie, de couches formées primitivement au fond de la mer, et qui, après avoir émergé, ont atteint leur hauteur actuelle par l'effet d'une force agissant d'en bas; en troisième lieu, pour rendre compte des dénudations étendues et graduelles, on ne sau-

rait imaginer aucune combinaison de causes aussi efficace que l'action des flots et des courants de l'Océan sur une terre s'élevant lentement de ses profondeurs.

Si nous adoptons ces conclusions, nous serons naturellement conduits à chercher autour de nous des traces de l'ancien séjour de la mer sur la terre, spécialement près des côtes où s'est opérée la dernière retraite des eaux, et ces traces ne manqueront pas à nos observations.

J'aurai l'occasion de parler d'anciennes falaises aujourd'hui éloignées de la mer, au sud-est de l'Angleterre, lorsque je traiterai, chapitre XIX, de la dénudation des roches de craie dans le Surrey, le Kent et le Sussex. Des lignes de rivages marins de dates plus modernes, et qui dominent de 6 à 30 mètres le niveau de la mer actuelle, se montrent aussi sur des espaces très étendus le long des côtes est et ouest de l'Écosse, ainsi que dans le Devonshire et dans d'autres comtés d'Angleterre. Les anciennes lignes de rivage y forment souvent des terrasses de sable et de gravier, contenant des coquilles littorales dont quelques-unes sont brisées, d'autres entières, et qui correspondent à des espèces vivant encore aujourd'hui sur les côtes voisines. Mais il ne faut pas s'attendre à rencontrer partout des traces d'anciens rivages; aucun géologue n'ignore avec quelle promptitude s'altèrent, s'effacent même entièrement, les traces de cette espèce partout où des modifications dans les courants et les marées ont déterminé la retraite de la mer depuis quelques siècles. Nous voyons des escarpements composés d'argile ou de sable se démanteler en peu d'années et se réduire à une pente insensible. S'il y existe des coquilles, elles se décomposent; leurs éléments sont entraînés par les eaux, et bientôt les débris et le sable n'ont plus rien qui les distingue de toute autre alluvion de l'intérieur des terres.

Les traces d'anciens rivages disparaissent quelquefois, cachées par des arbres ou des buissons, ou bien par du sable qu'amène le vent; on en observe un bon exemple à quelques kilomètres ouest de Dax, près Bordeaux. A 19 kilomètres

environ vers l'intérieur du pays, on peut suivre une rive escarpée, dans la direction du nord-est au sud-ouest à peu près, ou parallèlement à la côte contiguë. L'escarpement, haut d'environ 15 mètres, conduit de la plate-forme supérieure des Landes à une plaine plus basse qui s'étend jusqu'à la mer (fig. 92).

Lorsque je visitai cette localité, la configuration du sol me suggéra l'idée que, à l'époque où la contrée entière occupait

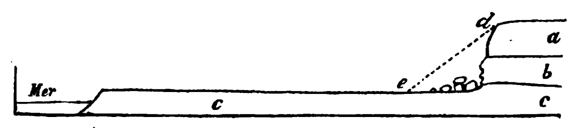


FIG. 92. — Coupe de falaise intérieure, à Abesse, près de Dax.
a. Sable des Landes. — *b*. Calcaire. — *c*. Argile.

un niveau inférieur, cette rive avait été une falaise marine. Mes conjectures se confirmèrent lorsqu'au cours de 1830, en creusant le sol pour les fondements d'un édifice, à Abesse, on retira une grande quantité de sable meuble formant la pente *d e*, et l'on mit à découvert un escarpement perpendiculaire, d'environ 15 mètres de hauteur, qui avait été protégé jusqu'à ce moment contre l'action des éléments. Vers le bas, on rencontra un calcaire *b* contenant des coquilles et des coraux tertiaires; immédiatement au-dessous de ce calcaire, l'argile *c*, et, sur le tout, le sable tertiaire ordinaire *a*, du département des Landes. A la base de ce précipice, gisaient de grosses masses de roches, en partie arrondies, qui provenaient évidemment de la couche *b*. La tranche du calcaire était creusée et façonnée sous toutes les formes que l'on remarque dans les falaises calcaires de la côte voisine, spécialement à Biarritz, près Bayonne. Il est évident qu'à l'époque où cette contrée occupait un niveau un peu plus inférieur, la mer avançait sur la surface de la couche argileuse *c*, et que cette couche favorisa, par sa nature friable, la dégradation de la roche sus-jacente, plus solide, *b*. Par la suite, lorsque le sol vint à s'élever, une partie du sable *a* tomba ou fut entraînée par les vents, et

forma le talus *de*, qui cacha l'escarpement jusqu'au moment où il fut mis à découvert.

Au nombre des causes diverses qui, dans le cours des âges, peuvent effacer les caractères d'un ancien rivage marin, il ne faut pas oublier les tremblements de terre. Durant les violentes secousses, des escarpements abrupts et minés par le pied s'écroulent, et forment des monceaux de ruines. Quelquefois des mouvements inégaux d'ascension et d'abaissement détruisent entièrement cette horizontalité des lignes de base qui constitue le caractère dominant d'une ancienne falaise.

C'est principalement dans les pays où les roches calcaires abondent, que les escarpements intérieurs des terres conservent le mieux la physionomie qu'ils avaient lorsqu'ils constituaient des limites entre la terre et la mer. En Morée, par exemple, on observe jusqu'à trois et même quatre de ces lignes, qui dénotent l'ancienne existence de rivages marins. Elles ont été décrites par MM. Boblaye et Virlet; on les voit s'élever au-dessus les unes des autres, à différentes distances du rivage actuel; la plus haute, qui est en même temps la plus ancienne, atteint parfois à plus de 300 mètres. A la base de chacune des lignes, il existe habituellement une terrasse large de quelques mètres sur certains points et de plus de 300 mètres sur d'autres, de telle sorte que, des parties les plus élevées de l'intérieur des terres, on est conduit vers la mer par une succession de gradins. Ces falaises intérieures sont bien tranchées et ressemblent exactement à celles que battent aujourd'hui les flots de la Méditerranée, dans les parages où elles sont formées de roche calcaire, et spécialement vers ceux où la roche est un marbre cristallin d'une certaine dureté. Voici les points de correspondance observés entre les anciennes lignes de côtes et les bords de la mer actuelle : 1° une rangée de précipices verticaux avec une terrasse à leur base; 2° une surface de roche nue, corrodée par les eaux, telle que les vagues de la mer en produisent de nos jours; 3° une ligne de cavernes littorales, au pied des escarpements; 4° une brèche consolidée,

quelquefois avec coquilles marines à la base des mêmes escarpements ou dans les cavernes ; 5° des perforations produites par les animaux lithophages.

Relativement au premier point, il serait superflu d'insister sur cette manifestation du pouvoir destructeur des vagues et courants, qui nous est fournie par les précipices verticaux. Les excavations littorales sont également bien connues des géologues qui ont eu l'occasion d'observer comment les flots de la mer creusent les cavernes. Quant à la brèche, elle est formée de fragments calcaires et de débris roulés de coquilles solides, épaisses, telles que *Strombus* et *Spondylus*, liés ensemble par un ciment calcaire cristallin. De semblables agrégats se forment journellement en Grèce, sur les bords de la mer et dans les cavernes, le long des côtes ; on ne saurait les distinguer de ceux de formation plus ancienne, s'ils ne contenaient divers fragments de poteries. Quant aux perforations produites par les lithophages, on sait que certains mollusques ont la faculté singulière de creuser dans les calcaires les plus durs des cavités dont le diamètre augmente avec l'accroissement de la coquille. Pour que l'animal puisse vivre, il faut que les coquilles soient toujours couvertes par les eaux salées ; or, de semblables cavités, en forme de poires, contenant des restes de coquilles, se montrent à différents niveaux dans les escarpements mentionnés ci-dessus. On en a observé près de Modon et de Navarin, à l'intérieur des terres, dans des falaises situées à une hauteur de 38 mètres au-dessus de la Méditerranée.

Indépendamment de l'altération bien connue que les roches calcaires éprouvent au contact de l'eau salée, et qui constitue une décomposition chimique, les falaises s'altèrent encore plus profondément vers leur base, où elles reçoivent le brisement direct des vagues. Sous cette action, la surface de la roche, corrodée, sillonnée, devient extérieurement rugueuse et branchue comme si elle était couverte de coraux. De tels effets s'observent non-seulement sur les bords actuels, mais encore à la base des anciennes falaises, dans l'intérieur des terres.

Il me reste à parler des terrasses qui s'étendent par une pente très douce vers la mer, depuis la base de presque tout escarpement intérieur. Étroites, pour la plupart, lorsque la roche est dure, mais d'un demi-kilomètre ou plus lorsque la roche est tendre, elles sont l'effet de l'empiétement de l'ancienne mer sur le rivage, aux niveaux où la terre est restée pendant longtemps stationnaire. On ne saurait en douter lorsqu'on examine les formes d'un rivage actuel, partout où la mer empiète sur la terre, entraînant de petites portions de la roche qu'elle sape vers ses fondements. Cette action donne naissance à une plate-forme sous-marine sur laquelle, à marée basse, on peut pénétrer dans l'eau, par une augmentation de profondeur tout à fait graduelle, jusqu'à ce qu'on arrive à un point où le fond s'abaisse brusquement. Cette plate-forme augmente plus ou moins rapidement en largeur, suivant le degré de dureté des roches, et, lorsqu'elle vient à émerger, elle constitue une bande de terre ferme.

Mais les quatre principales lignes de falaises observées en Morée n'impliquent pas, comme quelques auteurs ont pu l'imaginer, quatre grandes époques d'exhaussements subits; elles indiquent simplement l'intermittence de la force d'exhaussement. Si le soulèvement de la terre se fût continué d'une manière non interrompue, il ne se serait pas produit de ligne saillante d'escarpement, car chaque portion de la surface aurait été, à son tour, et pendant une période égale de temps, une plage marine, et aurait présenté à peu près le même aspect; mais, lorsque des interruptions ont lieu pendant la durée de l'exhaussement, les flots et les courants ont le temps de saper, d'entraîner et de faire disparaître des masses considérables de rochers, et, par suite, de donner successivement naissance à plusieurs lignes d'escarpements, ayant chacune un niveau distinct et reposant chacune sur une large terrasse.

Il existe toutefois, en Morée, certaines surfaces nivelées, tant anciennes que modernes, qui ne sont point le résultat

d'une dénudation, bien qu'elles ressemblent par leur aspect aux terrasses que nous avons décrites. On peut les appeler terrasses de dépôt, car elles résultent de l'empiétement de la terre sur la mer, aux points où les rivières et les torrents ont produit des deltas. Lorsque la matière sédimentaire a comblé une baie, ou un golfe entouré de montagnes escarpées, une plaine unie se forme, bordant les précipices vers la terre; et quand ces dépôts viennent à s'élever, ils donnent à la localité une physionomie tout à fait semblable à celle des surfaces de dénudation.

J'ai eu l'occasion d'examiner en Sicile plusieurs escarpements semblables à ceux de la Morée : près de Palerme, par exemple, il existe un précipice taillé dans le calcaire, et à la base duquel on voit de nombreuses cavernes. L'une d'elles, appelée San-Ciro, à 3 kilomètres environ de Palerme, a 6 mètres à peu près de haut sur 3 de large, et domine de 60 mètres le niveau de la mer. Dans l'intérieur, on voit une ancienne plage (*b*, fig. 93) formée de débris roulés de différentes roches, dont plusieurs ont dû être apportés de grandes

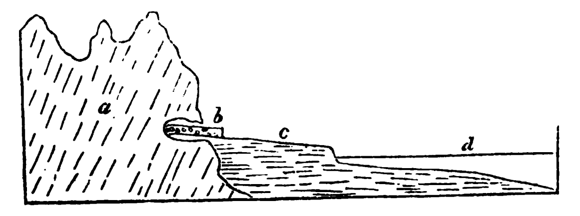


FIG. 93. — *a*. Monte Grifone. — *b*. Caverne de San-Ciro (1). *c*. Plaine de Palerme, dans laquelle sont les couches de Pliocène nouveau : calcaire et sable. — *d*. Baie de Palerme.

distances. A ces galets sont mêlés des fragments de coraux et de coquilles, en particulier d'huîtres et de *Pecten*. Immédiatement au-dessus du niveau de cette plage, on remarque des *Serpules* qui adhèrent encore à la surface de la roche, et

(1) Coupe donnée par le docteur Christie, *Edinb. new Phil. Journ.*, n° XXIII, appelée, par mégarde, la caverne de Mardolce, par feu Hoffmann. En voir la description par M. S.-P. Pratt, F. G. S., *Proceed. of Geol. Soc.*, n° 32, 1833.

le calcaire est perforé par des *lithodomes* (lithophages). Dans l'intérieur de la grotte, existent, au même niveau, des perforations semblables, et les trous sont tellement nombreux, que la roche a été comparée par Hoffmann à une cible toute percée de balles. Mais, pour mettre à découvert ces traces, il a fallu d'abord enlever une masse de brèches consistant en fragments nombreux de roches, avec une immense quantité d'os de mammouths, d'hippopotames et d'autres quadrupèdes ensevelis dans une marne calcaire d'un brun foncé. Plusieurs de ces ossements étaient usés comme s'ils eussent subi l'action des vagues. Au-dessous de la brèche, épaisse de 6 mètres environ, on a rencontré un lit de sable rempli de coquilles marines d'espèces récentes, et, de nouveau, sous le sable, le calcaire secondaire du mont Grifone. Le calcaire qui, dans la caverne, est au-dessus du niveau du sable marin, présente un tout autre aspect que celui qui est au-dessous. Au-dessus, la roche est dentelée et inégale, comme cela se voit d'ordinaire à la voûte et aux parois des cavernes calcaires ; au-dessous, la surface est unie et polie comme l'aurait produite le frottement continu des vagues.

La plate-forme indiquée en *c* (fig. 93) est un dépôt tertiaire contenant des coquilles marines, presque toutes d'espèces vivantes; elle fournit un exemple de terrasse par dépôt, c'est-à-dire appartenant au second genre dont nous venons de parler.

On observe encore en Sicile d'autres nombreux exemples de terrasses de dénudation. L'une d'elles se montre sur la côte orientale, au nord de Syracuse, et reparaît au sud, au delà de la ville de Noto ; en cet endroit, elle forme un précipice élevé et continu, *ab* (fig. 94), qui regarde vers la mer et termine brusquement une formation calcaire dont les couches horizontales s'étendent au loin dans l'intérieur du pays. La hauteur de ce précipice varie de 150 à 215 mètres ; entre sa base et la mer il existe une plate-forme inférieure *cb* constituée par un calcaire blanc semblable au précédent. Toutes les couches plongent vers la mer, mais elles ne sont ordi-

nairement que très peu inclinées; on les voit se prolonger sans interruption du pied de l'escarpement tout le long de la plate-forme, montrant distinctement que la falaise élevée n'a point été produite par une faille ou un craquement vertical des couches, mais par l'ablation d'une masse considérable de roche. On peut en conclure que la mer, qui mine aujourd'hui la base des falaises siciliennes, atteignait jadis le pied du précipice *ab*, et qu'à cette époque la surface de la terrasse *cb* devait être couverte par la Méditerranée. Il y eut un temps d'arrêt, toutefois, dans le mouvement d'ascension, temps pendant lequel les flots de la mer purent disposer la plate-forme *cb* ; mais il y eut, de plus, diverses autres périodes stationnaires de durée moindre. Supposons qu'une série d'escarpements *e*, *f*, *g*, *h*, ait existé autrefois, et que

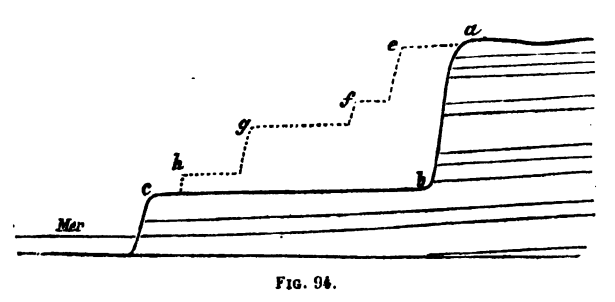


FIG. 94.

la mer, exempte pendant un long intervalle de tout mouvement souterrain, ait avancé le long de la ligne *cb*, toutes les falaises précédentes auront dû être emportées l'une après l'autre et réduites au seul précipice *ab*.

Il est très probable qu'à une certaine époque, une série de petites falaises, telles que celles représentées en *e*, *f*, *g*, *h* (fig. 94), existèrent réellement à des hauteurs intermédiaires, au lieu de l'unique précipice *ab* ; ce qui semblerait le prouver, c'est que, dans certaines baies et dans des vallées intérieures dont l'ouverture regarde la côte orientale de la Sicile, non loin même du point que représente la figure 94, le calcaire solide montre une nombreuse succession de gradins séparés les uns des autres par de petits escarpements verticaux.

Ces gradins superposés se succèdent quelquefois en si grand nombre, qu'ils donnent aux courbures formées à l'extrémité d'une vallée une analogie vraiment singulière avec un amphithéâtre romain. On peut observer un très bon exemple



FIG. 95. — Vallée appelée Gozzo degli Martiri, au-dessous de Melilli, val di Noto.

de cette sorte de configuration près de la ville de Melilli (fig. 95). Au sud de l'île, près de Spaccaforno, Scicli et Modica, des rochers abrupts de calcaire blanc, d'une hauteur de 150 mètres, ont été façonnés de la même manière.

Que des gradins de marbre se trouvent ainsi disposés circulairement au fond d'une vallée, ou bien qu'une double

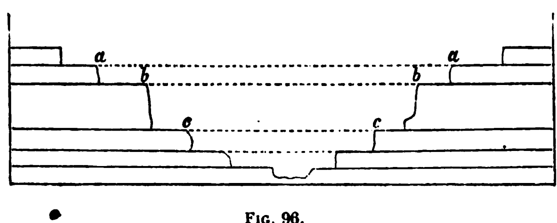


FIG. 96.

série d'escarpements descende depuis le sommet jusque vers le bas, sur les deux côtés opposés d'une gorge de montagnes, ces divers arrangements s'expliquent par la supposition que la mer aurait occupé successivement plusieurs niveaux différents, tels que *aa*, *bb*, *cc* (fig. 96); quant aux

causes de la contraction graduelle de la vallée, depuis le haut jusque vers le bas, elles peuvent s'apprécier de diverses manières : telle contraction a pu résulter de la force plus grande exercée par les eaux lorsque la terre, émergeant pour la première fois, offrait, dans une mer ouverte, une masse moins considérable et bien plus exposée à la dénudation, tandis que la destruction de la roche a dû diminuer à mesure que l'action dénudante s'amoindrissait dans les baies et canaux fermés de deux ou trois côtés. Ou bien, les mouvements séparés d'exhaussement ont pu se succéder plus rapidement à mesure que la terre a continué de s'élever, de telle sorte que la durée de chacun des temps d'arrêt pendant lesquels s'est accompli le maximum de dénudation, à de certains niveaux, est toujours allée en diminuant. Il faut remarquer que l'on rencontre rarement, sur les côtés opposés des vallées siciliennes, des escarpements et des petites terrasses dont les hauteurs se correspondent aussi correctement l'une à l'autre que dans la figure 96. Quelle que soit celle des deux hypothèses que l'on adopte, on pouvait s'y attendre, car, suivant la direction dominante des vents ou des courants, les flots doivent battre avec une force inégale les différentes parties du rivage; or, nulle atteinte ne se fera peut-être sentir sur l'un des côtés d'une baie, tandis que, sur l'autre côté, la mer empiétera si loin qu'elle finira par réunir plusieurs petites falaises en une seule.

Avant de quitter le sujet des anciennes falaises taillées dans le calcaire, je mentionnerai des roches escarpées, appartenant au marbre blanc de la période oolitique, que j'ai vues près de la porte nord de Saint-Mihiel, en France. Ces roches sont situées sur la rive droite de la Meuse, à une distance de 320 kilomètres de la mer la plus rapprochée, et elles présentent, sur le côté abrupt qui regarde la rivière, trois ou quatre sillons horizontalement superposés qui rappellent très exactement ceux que produit l'érosion des vagues. Plusieurs de ces roches sont des masses détachées de la colline voisine; les sillons les contournent et regardent vers tous les

points de l'horizon, comme si les blocs sillonnés eussent formé autrefois des îlots de rochers près du rivage (1).

Le capitaine Bayfield, dans son exploration du golfe de Saint-Laurent, a découvert sur plusieurs points, mais en particulier dans les îles Mingan, une contre-partie des rochers intérieurs de Saint-Mihiel, et a tracé une suite de lignes ou cordons de galets, placées l'une au-dessus de l'autre, et concordant, quant à leur niveau, avec quelques-uns des principaux sillons creusés en travers des piliers calcaires. Ces lignes sont composées de galets calcaires avec coquilles d'espèces récentes; la plus éloignée du rivage est à 20 mètres au-dessus du niveau des plus hautes marées. Outre les dessins des piliers, appelés *pots à fleurs* (*flower-pots*) qu'il a



Fig. 97. — Colonnes calcaires dans l'île Niapisca, golfe de Saint-Laurent. Hauteur de la seconde colonne sur la gauche, 18 mètres environ.

publiés (2), j'ai été assez heureux pour me procurer d'autres vues de rochers de la même côte, dues au crayon du lieutenant A. Bowen de la marine royale (fig. 97).

Dans les berges de l'Amérique du Nord, on a rencontré des fragments arrondis de calcaire perforés par les lithodomes; des trous semblables, pratiqués par les mêmes mol-

(1) J'ai été guidé par M. Deshayes, dans cette localité, en juin 1833.

(2) Voyez *Trans. de la Soc. géol.*, 2e série, vol. V, pl. V.

lusques, ont été découverts dans les roches colonnaires, ou *pots à fleurs :* ce fait montre que la surface a subi peu d'altération par les agents atmosphériques, car autrement les cavités dont il vient d'être question auraient disparu.

Nous avons observé, dans les îles Bermudes, la manière dont les vagues de l'Atlantique ont creusé et creusent encore des cavités profondes, très lisses, tout autour de masses saillantes de calcaire dur. Dans le dessin suivant (fig. 98),



FIG. 98. — Rochers du Nord (Bermudes), en dehors du grand récif de corail. A, $4^m,80$, et B, $3^m,60$. — *c*, *c*. Excavations produites par la mer.

qui m'a été communiqué par le capitaine Nelson, les excavations *c*, *c*, *c*, ont été produites par les eaux dans une pierre d'une date très récente ; cette pierre, bien qu'extrêmement dure, est remplie de coraux et de coquilles modernes dont quelques-unes ont même conservé leur couleur.

Lorsque les géologues étudient avec attention les formes de ces sillons horizontaux, dont la surface est quelquefois lisse et presque polie, et dont le bord supérieur fait souvent une saillie de 2 mètres ou plus, ils rencontrent le témoignage le moins équivoque de l'action exercée jadis par les vagues sur d'innombrables points situés au loin dans l'intérieur des continents. Mais il faut apprendre à distinguer les effets dus à l'action originelle des eaux de ceux qu'a produits ultérieurement la décomposition chimique des roches calcaires, sous l'influence des agents atmosphériques.

Je terminerai en conseillant aux commençants de n'être point surpris s'ils ne rencontrent aucune trace évidente du séjour antérieur de la mer sur des terres dont la submersion à des époques relativement récentes ne fait pour nous

l'objet d'aucun doute. Malgré la nature durable des traces laissées par l'action littorale sur les roches calcaires, on ne saurait découvrir partout d'anciennes plages marines et des falaises intérieures, même en Sicile et en Morée. Ces sortes de traces sont fréquemment interrompues, et manquent souvent dans les districts composés de formations argileuses et sableuses, bien que celles-ci aient dû s'élever dans le même temps et par les mêmes mouvements intermittents que les roches calcaires voisines.

CHAPITRE VII.

ALLUVIUM.

Sa description. — Son origine compliquée. — Alluvium de différents âges; exemples fournis par l'Auvergne. — Comment distinguer l'alluvium des roches *in situ*. — Terrasses de rivières. — Terrasses parallèles de Glen Roy. — Différentes théories sur leur origine.

Entre l'enveloppe superficielle de terre végétale et la roche sous-jacente, il existe généralement un dépôt de gravier meuble, de sable et de limon, auquel on a donné le nom d'*alluvium.* Ce nom a été tiré d'*alluvio* (inondation), ou d'*alluo* (je lave), d'après cette circonstance que les cailloux et le sable ressemblent communément à ceux du lit d'une rivière, et aux dépôts de limon et de gravier que les inondations abandonnent sur les terres basses.

Une enveloppe partielle d'alluvium ainsi composé se retrouve dans tous les climats, depuis les régions équatoriales jusqu'aux régions polaires ; mais, dans les plus hautes latitudes de l'Europe et du nord de l'Amérique, ce dépôt prend un caractère particulier : très souvent il n'est pas stratifié, et il contient d'énormes fragments de roches, les uns angulaires, les autres arrondis, qui ont été transportés à de grandes distances du point de leur origine. Lorsque le dépôt présente cette forme, on lui donne le nom de *diluvium*, de *drift* (anglais), de *formation de transport* (*boulder formation*) ; nous traiterons plus particulièrement de sa liaison probable avec les produits des glaces flottantes et des glaciers, dans les XIe et XIIe chapitres.

D'après ce que j'ai dit sur la dénudation, le lecteur sait déjà que l'on rencontre souvent du gravier meuble et du sable, non-seulement sur les terres basses qui longent les rivières, mais encore, et à différentes hauteurs, contre les flancs et

jusque sur le sommet des montagnes. Or, durant le cours des changements survenus dans la géographie physique à l'époque où le fond de la mer, s'élevant graduellement, passait à l'état de terre ferme, chaque place a pu être un récif, une baie, un estuaire, une plage marine, ou même le lit d'une rivière. De plus, la distribution des eaux sur les continents a pu se trouver modifiée maintes et maintes fois par les tremblements de terre; des lacs temporaires se sont formés par les glissements de terrain, et la destruction des barrières naturelles opposées à ces lacs a causé des déluges partiels. Enfin, les dernières actions de l'eau ont eu pour effet naturel de troubler et de confondre tous les alluviums formés précédemment. En présence d'une aussi grande diversité de causes et d'origines, on aurait tort d'espérer jamais connaître tous les phénomènes alluviens de chaque contrée en particulier. Il y aurait aussi un grand danger à regarder comme l'œuvre d'une seule époque, et l'effet d'une cause unique, ce qui fut, en réalité, le résultat d'actions distinctes pendant une longue succession de périodes géologiques. On peut, toutefois, tirer une instruction utile de l'examen d'une contrée comme l'Auvergne, où des graviers superficiels de différentes dates ont été conservés par des coulées de lave sorties successivement à des époques où la dénudation et probablement l'ascension des roches étaient elles-mêmes en voie de progrès. Cette région avait acquis en partie sa configuration actuelle avant qu'aucun volcan y fût en activité, et qu'aucune matière ignée eût été répandue sur ses formations granitiques ou fossilifères; aussi les galets, formés dans les graviers les plus anciens, y sont-ils exclusivement de granit et d'autres roches primordiales; lorsque les soupiraux volcaniques vinrent à s'ouvrir, ces alluviums furent couverts par des courants de lave qui les préservèrent du mélange avec le gravier des époques subséquentes. Dans la suite des temps, un nouveau système de vallées se forma, et les rivières coulèrent à des niveaux inférieurs à ceux des premiers alluviums et des anciennes coulées de laves. Lorsque, plus tard, d'autres

éruptions donnèrent lieu à de nouvelles laves, la matière fondue se répandit sur un sol plus bas, et le gravier de ces plaines différa de celui de l'alluvium des hautes terres en ce qu'il contint des fragments arrondis de différentes roches volcaniques et souvent des os appartenant à des groupes distincts d'animaux terrestres qui avaient vécu dans la nouvelle contrée.

Le dessin ci-joint (fig. 99) fait voir les hauteurs diverses auxquelles on observe des lits de lave et de gravier, différents les uns des autres par leur composition et par leur

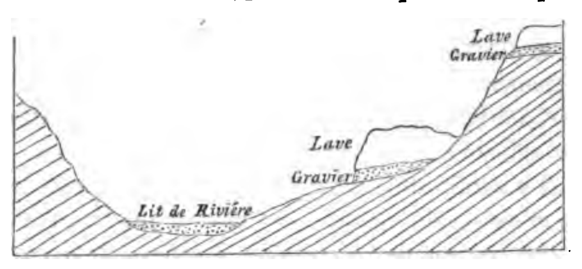


FIG. 99. — Laves en Auvergne, reposant sur des alluviums de différents âges.

âge; quelques-uns occupent les plateaux de montagnes élevées de 200 à 250 mètres, d'autres la pente des mêmes montagnes, et, les plus modernes de tous, le fond de la rivière actuelle, où l'on ne trouve d'ordinaire que du gravier. Toutefois, dans quelques cas, une coulée étroite de lave solide partage, avec la rivière, le creux de la vallée. Dans toutes ces accumulations de matières transportées de différents âges, on a rencontré des ossements de mammifères éteints, appartenant à un ensemble de quadrupèdes terrestres qui ont vécu dans la contrée, et dont les groupes varient, sous le rapport des espèces, dans des limites plus ou moins grandes, suivant le temps qui s'est écoulé entre les époques successives d'enfouissement. Les ruisseaux minent encore les bords de la masse et réduisent en cailloux et en sable les colonnes de basalte et les fragments de granit et de gneiss; mais certaines portions d'alluviums plus anciens, avec les débris fossiles qu'ils contiennent, ont été préservées du mélange avec le gra-

vier de date récente par les recouvrements de lave ci-dessus mentionnés. Cependant, sans l'intervention accidentelle de cette cause particulière, tous les alluviums auraient pu passer si insensiblement les uns aux autres, que les plus anciennement formés sembleraient aujourd'hui de même date que les plus modernes, et que la formation entière ne serait plus, aux yeux de quelques géologues, que le résultat d'une seule catastrophe soudaine et violente.

Presque partout l'alluvium se compose, dans sa partie supérieure, de matières de transport; mais souvent il passe, vers sa base, à un amas de fragments brisés, anguleux, arrachés aux roches sous-jacentes, et dont on peut attribuer la formation à l'influence des agents atmosphériques, à la désagrégation de la roche sur place, aux effets de l'air et de l'eau, du soleil et du froid, ou bien à la décomposition chimique. Dans plusieurs parties de l'Angleterre, on a donné à cet amas le nom de *ruble* ou *brash*, mots tirés de l'idiome provincial.

La surface inférieure des dépôts alluviens est souvent très irrégulière en ce qu'elle se moule sur toutes les inégalités des roches qui leur servent de base (fig. 100). Quelquefois on observe de petites masses comme en *c*, que l'on dirait détachées de leur position originelle, et incrustées, pour ainsi dire, dans la formation sous-jacente. Ces masses isolées sont ordinairement des sortes de trous contournés et remplis d'alluvium, qu'on peut supposer avoir servi de conduits à des sources ou à de petits ruisseaux souterrains qui ont élargi les fentes naturelles en coulant au travers de la masse rocheuse; lorsqu'on les rencontre sur une petite échelle, ou bien dans des couches peu dures, ils peuvent indiquer la place autrefois occupée par les racines de grands arbres, et que le gravier ainsi que le sable ont remplie après la destruction de ces racines.

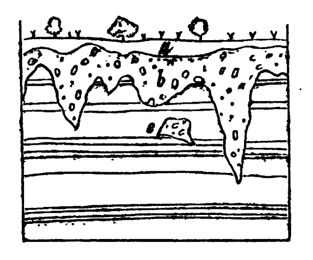


FIG. 100. — *a*. Sol végétal. *b*. Alluvium. — *c*. Masse du même alluvium, apparemment détachée.

On n'explique pas aussi bien l'origine de certaines autres cavités profondes et cylindriques que l'on trouve en France, en Angleterre et dans d'autres pays, et qui, s'enfonçant dans la craie blanche, sont comblées par du sable et du gravier. On leur a donné quelquefois, en Angleterre, le nom de *sand-pipes* (tuyaux de sable), ou *sand-galls*, et en France celui de *puits naturels*. J'ai observé moi-même celles que j'ai représentées dans la coupe ci-dessous (fig. 101), en 1839, près de Norwich, sur un point où le percement d'un large

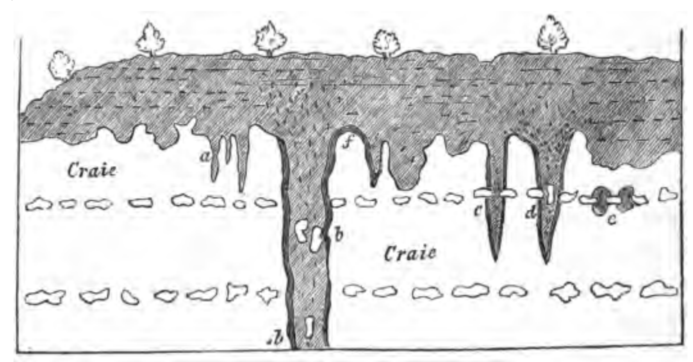


Fig. 101. — Tuyaux de sable (puits naturels) dans la craie, à Eaton, près de Norwich.

puits les avait mises à découvert. Elles étaient d'une forme très symétrique ; les plus larges avaient au delà de 3^{m},50 de diamètre, et quelques-unes avaient été suivies par le forage jusqu'à 18 mètres de profondeur. Les plus petites variaient de quelques centimètres à un décimètre de diamètre, et rarement elles descendaient à plus de 4 mètres au-dessous de la surface. Sur un point où trois d'entre elles se présentaient, comme en *a* (fig. 101), très rapprochées les unes des autres, la roche interposée, composée de craie blanche, tendre, n'était aucunement brisée. Toutes les cavités se dirigeaient vers le bas et se terminaient en pointe ; généralement, du sable et des cailloux roulés occupaient les parties centrales des tuyaux, tandis que les côtés et le fond étaient bordés d'argile.

M. Trimmer, en parlant de formes du même genre que

l'on rencontre dans la craie de Kent, attribue leur origine à l'action de la mer sur une berge ou sur un bas-fond : en même temps que les vagues chargées de galets et de sable tracent des sillons longitudinaux, tels qu'on peut en observer sur la surface de la craie ci-dessus mentionnée, près de Norwich où le gravier sus-jacent a été enlevé, de profondes cavités circulaires sont creusées par le mouvement rotatoire imprimé au sable et aux galets. Des sillons et des cavités verticales semblables se forment encore de nos jours, fait observer M. Trimmer, sur les côtes où la roche est composée de craie (1).

Je suis porté à croire que l'origine de plusieurs de ces cavités tubulaires doit être attribuée à la cause qui vient d'être indiquée. Mais cette action, toute mécanique, ne peut avoir creusé en entier les tuyaux de sable *c* et *d* (fig. 101), car on voit plusieurs gros silex de la craie qui font saillie hors des parois de ces tuyaux, et qui n'ont pas subi l'effet de l'érosion, bien que le sable et le gravier aient pénétré à plusieurs décimètres au-dessous. Dans d'autres cas, tels qu'en *bb*, on rencontre de semblables nodules siliceux, conservant encore leur forme irrégulière et leur encroûtement blanchâtre, à différentes profondeurs au sein des matériaux meubles qui remplissent les tuyaux. Ces nodules proviennent évidemment des lits réguliers de silex qui se trouvent au-dessus. Il faut aussi remarquer que le tracé du même tuyau *bb* se continue quelquefois jusqu'à une certaine distance au-dessus du niveau de la craie, à travers le sable et le gravier qui la recouvrent; la destruction de toute marque de stratification ne laisse aucun doute sur la réalité de cette continuation. Quelquefois, comme dans le tuyau *d*, les lits sus-jacents de gravier se courbent au bas, vers l'embouchure du tuyau, et prennent une direction presque verticale, ainsi qu'il arriverait si des couches horizontales eussent fléchi graduellement par la chute de leurs supports. On peut expliquer tous ces phénomènes en

(1) Trimmer, *Proceed. of Geol. Soc.*, vol. IV, p. 7, 1842.

attribuant l'élargissement et l'approfondissement des tuyaux de sable à l'action chimique de l'eau chargée d'acide carbonique extrait du sol végétal ou des racines d'arbres en décomposition. Cet acide, qui a pu corroder la craie, creuser indéfiniment les trous déjà formés, est resté impuissant à dissoudre le silex. L'eau, après s'être saturée de carbonate de chaux, a pu filtrer librement à travers les parois poreuses environnantes de la craie, et s'échapper par cette voie aussi bien que par le fond du tube, emportant de grandes quantités de la roche calcaire dissoute (1), et abandonnant contre les parois de chaque cavité tubulaire une incrustation de cette argile fine que la craie blanche contient.

J'ai vu des tubes tout à fait semblables aux précédents, de $0^m,30$ à $1^m,50$ de diamètre, qui traversaient verticalement la moitié supérieure du calcaire tendre à bâtir, ou craie sans silex dont se compose la montagne de Saint-Pierre à Maëstricht. Ils étaient remplis de cailloux roulés et d'argile provenant des lits supérieurs de gravier, et tous étaient terminés vers le bas comme ceux de Norfolk. J'ai appris aussi qu'à 9 kilomètres de Maëstricht, l'un de ces tuyaux, de $0^m,60$ de diamètre, se prolongeait jusqu'à un lit de silex plats, formant une bande presque continue dans la craie. Arrivé là, il se terminait brusquement, mais quelques petits prolongements de forme radiculaire s'ouvraient immédiatement au-dessous, probablement dans la direction où la substance dissolvante avait pu pénétrer par quelques ouvertures de la masse siliceuse.

Il n'est pas aussi facile qu'il semblerait au premier abord, de tracer une ligne de démarcation parfaitement nette entre les roches *fixes* ou couches régulières (roches *in situ*, en place) et l'alluvium. Lorsque le lit d'un torrent ou d'une rivière est mis à sec, nous appelons *alluvium* le gravier, le sable, le limon qui restent dans ce lit, ou les substances quel-

(1) Voyez Lyell, *On Sand-pipes*, etc. (*Philos. Magaz.*, 3e série, vol. XV, p. 257, oct. 1839).

conques que, durant leurs inondations, ils ont pu répandre sur les plaines environnantes. Lorsque les mêmes matières, transportées dans un lac et soumises au sein de l'eau à une sorte de triage, se disposent en lits plus distincts, elles prennent le nom de *couches irrégulières*, spécialement si elles renferment des débris de plantes, de coquilles ou d'autres fossiles.

Quelquefois le gravier, le sable et les débris de coquilles étalés sur le parcours d'un courant marin rapide, peuvent être comparés à un dépôt formé dans le même temps par la précipitation annuelle de matières semblables, sur quelque point de la mer plus profond et plus tranquille. Dans ce cas, lorsqu'on découvre dans les couches des coquilles marines ou d'autres débris organiques qui permettent d'en déterminer l'âge et l'origine, on les considère comme faisant partie d'une série régulière de formations fossilifères, tandis que si les fossiles manquent, on n'a souvent aucun moyen de séparer ces couches de la masse générale d'alluvium superficiel.

La rareté habituelle des débris organiques dans les lits de gravier meuble doit être attribuée, soit au frottement qui a réduit les roches en cailloux et en sable, et les débris organiques en petits fragments, soit à la nature poreuse de l'alluvium au moment de son émersion; l'eau de pluie, pénétrant librement la masse, a provoqué la décomposition et la dissolution des débris organiques.

Tout le monde sait qu'un grand nombre de rivières creusent aujourd'hui leur lit à travers des dépôts d'alluvium plus profonds et plus étendus qu'aucun de ceux que peuvent former les cours d'eau actuels. On s'est hâté quelquefois d'en conclure que les rivières, dans les temps modernes, étaient devenues plus petites et moins sujettes aux débordements qu'elles ne l'étaient dans les anciens temps. Mais il serait bien plus naturel de voir tout simplement ici le résultat d'oscillations survenues dans le niveau de la terre depuis l'origine des vallées actuelles.

Supposons qu'une portion de continent, comprenant dans son étendue un large bassin hydrographique, tel que celui du Mississipi, vienne à baisser de plusieurs centimètres ou décimètres dans le cours d'un siècle, comme cela est arrivé pendant trois ou quatre cents ans entre les latitudes 60° et 69° N., pour la côte occidentale du Groënland, qui s'étend du nord au sud sur près de 900 kilomètres (1); la quantité d'abaissement ne sera pas partout la même, et, dans bien des cas, l'intérieur des terres subira une dépression supérieure à celle de la région qui longe la mer. Toutes les fois qu'il en sera ainsi, la pente des eaux qui descendront des terres supérieures diminuera, les ruisseaux tributaires perdront de leur force à porter le sable et les sédiments dans la rivière principale, et celle-ci deviendra à son tour moins puissante à entraîner les mêmes matières à la mer. Toutes les rivières, dès lors, commenceront à combler en partie leur ancien lit, et, pendant leurs inondations devenues plus fréquentes, elles exhausseront par de nouveaux dépôts les plaines alluviales qui les bordent. Si, alors, la même surface de terre vient à se relever à son premier niveau, la pente, et conséquemment la vitesse de toutes les rivières, commenceront à augmenter, les eaux seront moins sujettes à inonder les plaines voisines, elles continueront de charrier les matières terreuses vers la mer, et nettoieront et approfondiront leurs lits jusqu'à ce que, après plusieurs milliers d'années, chacune d'elles se soit creusé un nouveau canal ou vallée au travers d'une formation fluviale d'une date comparativement moderne. Les *plaines de rivières* qui existaient pendant la période de plus grande dépression formeront alors aux deux côtés de la vallée des sortes de terrasses en apparence horizontales, mais qui, en réalité, inclineront dans le sens de la rivière, sur toute leur étendue; ces terrasses présenteront des escarpements de gravier et de sable qui feront face au cours d'eau. Qu'une semblable série de mouvements se soit effec-

(1) *Princip. of Geolog.*, 7ᵉ édit. (angl.), p. 506; 8ᵉ édit. (*id.*), p. 509.

tivement produite pendant les oscillations de niveau dans la principale vallée du Mississipi et dans ses vallées tributaires, c'est ce que je me suis efforcé de démontrer dans une description de cette contrée (1); et les coquilles d'eau douce d'espèces vivantes, ainsi que les ossements de quadrupèdes terrestres appartenant en partie à des races éteintes et conservés dans les terrasses d'origine fluviatile, attestent l'exclusion de la mer pendant toute la durée du comblement et de la réexcavation partielle.

Dans plusieurs cas, l'alluvium dans lequel les rivières creusent aujourd'hui leur lit a dû commencer à se former lorsque la terre émergea pour la première fois du sein de la mer. Si l'émersion fut causée par un mouvement graduel et uniforme, les baies, estuaires ou détroits, durent sécher lentement, et, pendant leur conversion en vallées, chaque portion de la surface exhaussée dut être à son tour une plage marine et se couvrir de sable et de cailloux de rivage. Pendant la retraite de la mer, chaque place a pu devenir le centre d'agglomération d'un delta, et les matières ainsi accumulées se sont conformées à la pente générale d'une vallée, depuis son sommet jusqu'au bord de la mer.

Terrasses de rivière. — On observe souvent, à peu de distance du lit actuel d'une rivière, un escarpement haut de quelques décimètres ou de quelques mètres, sur lequel se trouve une terrasse plane, correspondant en apparence à la plaine d'alluvion qui part immédiatement de la rivière. Cette terrasse est suivie d'un autre escarpement au-dessus duquel existe quelquefois une seconde terrasse. On peut ainsi observer deux ou trois rangs d'escarpements sur l'un des côtés ou sur les deux côtés à la fois du cours d'eau ; leur nombre varie, mais il y a souvent, d'un bord à l'autre, correspondance en hauteur.

Ces terrasses sont rarement continues sur de longues distances ; leur inclinaison suit celle de la rivière. Elles s'ex-

(1) *Second Visit to the United States*, vol. II, chap. 34.

pliquent facilement par l'hypothèse d'une élévation graduelle de la terre, surtout si l'on admet qu'à l'époque où la rivière a creusé son lit, le mouvement d'exhaussement a été intermittent, et que de longues interruptions ont permis au cours d'eau d'empiéter sur ses bords et d'entraîner les matières en aplanissant un large espace. Cette opération se sera répétée ensuite à des niveaux inférieurs, et il en sera résulté plusieurs escarpements successifs.

Terrasses parallèles. — Les *parallel roads*, ou *parallel shelves* (noms anglais) (1) de Lochaber ou Glen-Roy et d'autres vallées voisines, en Écosse, diffèrent, par leur caractère et par leur origine, des terrasses que nous venons de décrire; elles n'inclinent pas vers la mer comme le lit des rivières, et elles n'ont point été produites par dénudation. Le Glen-



Fig. 102. — Terrasses de rivière et *parallel roads* (terrasses parallèles).

Roy est situé dans les Highlands de l'ouest, à environ 16 kilomètres au nord du fort William, près de l'extrémité occidentale du grand Glen d'Écosse, ou canal Calédonien, et au pied du Ben-Nevis, le plus élevé des Grampians. Sur toute sa longueur, qui est de plus de 16 kilomètres, on observe deux terrasses parallèles, et, sur la partie inférieure, trois qui sont tracées le long des flancs escarpés des montagnes,

(1) *Roads* (route), *shelves* (tablettes). Nous traduirons, faute de mieux, en français, *parallel roads*, ou *parallel shelves*, par terrasses parallèles.
(*Note du traducteur.*)

comme le fait voir la figure 102 ; chacune conserve une parfaite horizontalité et se présente au même niveau sur les côtés opposés du glen (vallon). Vues à distance, ces terrasses ressemblent à des sentiers ou chemins pratiqués artificiellement dans les flancs du rocher ; mais lorsqu'on s'en approche, on a peine à constater leur existence, tant leur surface est unie et masquée par les transports. Elles ont de 3 à 18 mètres de large, et ne se distinguent des flancs de la montagne que par une inclinaison un peu moindre.

Si l'on se livre à un examen attentif, on s'aperçoit que ces terrasses sont stratifiées à la manière ordinaire des dépôts alluviaux ou littoraux, comme on peut s'en convaincre sur les points où des ravins ont été creusés par les torrents. Les terrasses parallèles, toutefois, n'ont pas été produites par la dénudation, mais par un dépôt de détritus tout à fait semblable à celui qui est répandu en petites quantités sur les pentes des collines dont il a été question ci-dessus. Ces collines sont composées de schiste argileux, de micaschiste et de granit, roches qui, sur quelques points seulement, se sont fait jour et ont été mises à nu suivant une ligne qui est précisément au-dessus des *roads* parallèles. Le plus élevé de ceux-ci est à environ 381 mètres au-dessus du niveau de la mer ; celui qui vient ensuite est à 60 mètres plus bas et domine de 15 mètres environ le troisième. Ce dernier seul se continue le long de Glen-Spean, large vallée avec laquelle se réunit Glen-Roy. Comme les terrasses parallèles se maintiennent toujours à la même hauteur au-dessus de la mer, elles dépassent d'autant plus le niveau de la rivière, que l'on descend davantage dans chaque vallée ; enfin, elles se terminent brusquement, sans cause apparente et sans aucun changement dans la forme du sol ou dans la composition et la dureté des roches.

Je dépasserais les limites de cet ouvrage, si j'essayais de donner une description complète de toutes les circonstances géographiques qui se rapportent à ces terrasses singulières, ou si je discutais les ingénieuses théories qu'ont mises en avant,

pour les expliquer, le docteur Macculloch, sir T.-D. Lauder, et MM. Darwin, Agassiz, Milne et Chambers. Néanmoins, tout le monde s'accorde à reconnaître que ces terrasses sont d'anciennes berges, ou formations littorales accumulées autour des bords d'une ou de plusieurs nappes d'eau, dont le niveau, primitivement égal à celui du *shelf* le plus élevé, s'est abaissé successivement à la hauteur des deux autres. Il est un fait bien connu, c'est que, partout où il existe un lac ou un fiord de mer environné de montagnes abruptes sujettes à la désagrégation par le froid ou l'action des torrents, une certaine quantité de matière meuble est entraînée annuellement, surtout pendant la fonte des neiges, et que ce détritus rencontre un point d'arrêt à l'endroit où il atteint les eaux du lac. Les vagues disséminent les matières le long du rivage, et les entraînent en partie sur la berge ; leur pouvoir de dispersion est favorisé par la glace qui souvent adhère aux cailloux pendant les mois d'hiver, et leur donne la faculté de flotter. La figure 103, ci-contre, fait voir comment, d'après le docteur Macculloch et M. Darwin, les *roads* constituent de simples dentelures dans l'enveloppe alluviale superficielle qui repose sur le versant de la montagne, et qui consiste principalement en argile et en fragments de roches bruts et argileux.

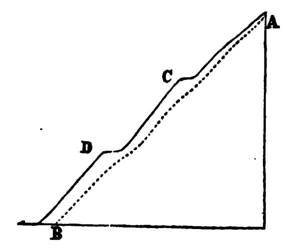


FIG. 103. — AB. Surface primitive, supposée, du rocher. — CD. Roads ou gradins, dans l'enveloppe alluviale, extérieure, de la montagne.

Entre autres preuves de la formation de ces terrasses parallèles le long des bords d'une nappe d'eau, je ferai observer que partout où une colline isolée se montre, vers le milieu du *glen* (vallon), au-dessus du niveau de quelque terrasse particulière, une terrasse correspondante se voit au même niveau, faisant le tour de la colline, comme si cette colline eût formé autrefois une île au milieu d'un lac ou d'un fiord. Ce qui n'est pas moins remarquable, c'est que chacune de ces terrasses aboutit, en quelque point de sa longueur, à un *col*, ou pas-

sage entre deux sommets de vallons, circonstance que nous étudierons par la suite.

Les écrivains qui, les premiers, ont considéré les *roads* comme d'anciennes berges de lacs d'eau douce, n'ont pu trouver aucune hypothèse plausible pour expliquer la formation, et ensuite la destruction de barrières qui fussent d'une hauteur et d'une solidité suffisantes pour arrêter l'eau. Dans l'impossibilité de supposer la destruction de ces barrières par quelque convulsion violente, à cause de l'horizontalité non interrompue des *roads* et de l'absence de toute perturbation apparente aux points des vallons où ils se terminent brusquement, mais voulant, avec les défenseurs de la théorie lacustre, rendre compte de la limitation des *roads* à de certains vallons et de leur absence dans les vallons contigus où cependant les roches sont de même composition et la pente du sol très semblable, M. Agassiz et le docteur Buckland ont supposé que les vallées avaient été autrefois flanquées d'énormes glaciers descendant du Ben-Nevis, et que ceux-ci auraient donné lieu aux lacs que l'on désigne en Suisse et dans le Tyrol sous le nom de lacs de glaciers. Après un certain temps, la barrière de glace serait venue à se rompre ou à fondre, d'abord au niveau du deuxième *road*, ensuite à celui du troisième.

A l'appui de cette hypothèse, les mêmes savants ont prétendu que l'alluvium de Glen-Roy et d'autres parties de l'Écosse concorde, pour le caractère, avec les moraines des glaciers qu'on voit dans les vallées alpines de la Suisse. Nous parlerons, dans le onzième chapitre, de l'ancienne existence de glaciers dans les Grampians, et, à cette occasion, nous concéderons volontiers que cette hypothèse explique bien plus facilement que toutes les théories lacustres antérieures l'existence temporaire et la disparition entière d'immenses barrières transversales, bien que la hauteur supposée de ces barrières de glace frappe étrangement l'imagination.

Avant que cette hypothèse eût été mise en avant, M. Darwin avait examiné Glen-Roy et émis l'opinion que les ter-

rasses parallèles (*roads*) étaient déjà formées dans un temps où les *glens* étaient encore des bras de mer, et qu'il n'avait donc jamais existé là aucune barrière marine. D'après ce savant, la terre émergea en cet endroit par un mouvement lent et uniforme d'exhaussement, analogue à celui qui se produit aujourd'hui sur une grande partie de la Suède et de la Finlande; mais il y eut dans l'exhaussement certains temps d'arrêt, et les eaux de la mer restèrent stationnaires pendant un nombre de siècles assez considérable pour permettre l'accumulation d'une quantité extraordinaire de détritus et le creusement, sur plusieurs points de la roche solide, d'entailles profondes et d'escarpements abrupts.

Les phénomènes qui concordent le plus difficilement avec cette théorie sont, en premier lieu, la cessation brusque des *parallel roads* à de certains points dans les différents *glens*, et, en second lieu, leur nombre inégal dans plusieurs vallées qui se lient les unes aux autres : il en existe, par exemple, trois dans le Glen-Roy et une seulement dans le Glen-Spean; en troisième lieu, l'horizontalité parfaite de niveau que conserve le même *road* sur une longueur de plusieurs kilomètres, ce qui oblige à supposer que pendant la durée d'un exhaussement de 380 mètres aucune portion de la terre n'a dépassé même de quelques mètres le mouvement ascendant des autres; en quatrième lieu, la coïncidence que nous avons déjà signalée entre le niveau de chaque *road* et celui d'un *col* ou sommet commun de deux vallons, point de partage des eaux pluviales. Ce dernier trait, mentionné dans la géographie physique de Lochaber, me semble expliqué d'une manière satisfaisante par M. Darwin. Il appelle ces cols *détroits de terres* et les regarde comme d'anciens détroits situés entre des îles. Ces sortes de détroits, comme le fait ressortir ce savant, montrent une tendance d'autant plus grande à se remplir de vase qu'ils sont plus étroits. Dans une carte des îles Falkland, par le capitaine Sullivan, on voit plusieurs exemples de détroits où la longueur de la sonde diminue régulièrement à mesure qu'on avance vers la partie la moins

large. L'un d'eux a si peu de profondeur, que l'on y marche à marée basse; un autre, qui n'est déjà plus couvert par la mer, paraît avoir été récemment mis à sec par suite d'un léger changement dans le niveau relatif de la terre et de la mer. « De semblables détroits, observe M. Chambers, tenant, pour le caractère, une sorte de milieu entre la terre et la mer, et que l'on peut appeler des gués, existent aux Hébrides, par exemple dans le passage qui sépare les îles de Lewis et de Harris, et dans celui qui se trouve entre North-Uist et Benbecula; si la mer venait à baisser, ils apparaîtraient, sans aucun doute, comme des *cols* coïncidant avec une terrasse ou une berge exhaussée tout autour des îles (1). »

La première des difficultés que nous avons rencontrées, c'est-à-dire la non-extension des terrasses parallèles sur certaines parties des *glens*, peut s'expliquer, suivant M. Darwin, en supposant, que sur certains points, le rapide développement d'un épais gazon aurait empêché la pluie d'entraîner toutes les matières meubles qui couvraient la surface, tandis que, partout où la formation d'une pelouse s'est faite lentement, le gravier a eu le temps d'être entraîné. On observe entre les deux terrasses supérieures une terrasse intermédiaire, longue seulement de 1 kilomètre, sur le versant de la montagne appelée Tombhran, et on ne la revoit plus ailleurs. Elle se présente à l'endroit où se trouvait le plus long espace d'eau ouvert, endroit où, peut-être, les vagues acquirent une puissance plus considérable qu'ailleurs pour amonceler des détritus.

Quant à l'horizontalité parfaite des *roads* parallèles de Lochaber, sur une surface de plusieurs myriamètres de long et de large, elle suscite une difficulté commune jusqu'à un certain point à toutes les hypothèses rivales qui mettent en jeu, l'une les lacs, l'autre les glaciers, une autre le simple exhaussement de la terre au-dessus de la mer. Nous ne pouvons supposer que les *parallel roads* soient plus anciens que la période glaciaire ou que celle de la formation de transport

(1) *Ancient Sea Margins*, p. 114, par R. Chambers.

d'Écosse, dont je parlerai dans les onzième et douzième chapitres. Des couches de cette époque, d'origine marine, contenant des coquilles d'espèces existant aujourd'hui dans le nord, ont été trouvées en Écosse, quelques-unes sur la côte orientale, d'autres sur la côte occidentale, à des hauteurs qui varient entre 6 et 120 mètres. Sur un point particulier du Lanarkshire, on en a observé à plus de 150 mètres au-dessus du niveau des plus hautes eaux. Or, il semble tout à fait improbable que le Glen-Roy ait échappé entièrement au mouvement d'élévation qu'éprouvèrent tant d'autres régions environnantes, et qui nous est révélé par la position de ces dépôts marins dans lesquels les coquilles sont presque toutes d'espèces récentes et connues. Mais si ce mouvement s'est étendu au Glen-Roy et aux *glens* contigus, il a dû les élever tous ensemble et sans affecter leur horizontalité ; ceci admis, la principale objection à la théorie des berges marines, fondée sur l'uniformité d'exhaussement, tombe d'elle-même, ou au moins engage en commun toutes les théories qui ont été proposées jusqu'à ce jour.

Admettre que l'Océan ait baissé du niveau de la terrasse la plus élevée, c'est-à-dire de 380 mètres, simultanément sur toute la surface du globe, tandis que la terre serait restée stationnaire, c'est là une opinion qui ne peut avoir de faveur que chez très peu de géologues, et nous en avons donné les raisons dans le cinquième chapitre.

D'après ce résumé de la controverse engagée sur la formation de ces curieuses terrasses, le lecteur a déjà compris que le problème, comme beaucoup d'autres en géologie, n'est encore qu'en partie résolu, et que, pour juger définitivement la question, il faudrait avoir pu recueillir et discuter un plus grand nombre de faits.

CHAPITRE VIII.

CLASSIFICATION CHRONOLOGIQUE DES ROCHES.

Roches aqueuses, plutoniques, volcaniques et métamorphiques, considérées sous le rapport chronologique. — Division des roches, par Lehman, en primitives et secondaires. — Classe de transition ajoutée par Werner. — Théorie neptunienne. — Théorie de Hutton sur l'origine ignée du granit. — Pourquoi on a conservé au granit la dénomination de roche primitive. — Pourquoi le mot *transition* est-il fautif ? — L'adoption de l'ancienne nomenclature chronologique a retardé les progrès de la géologie. — Hypothèse nouvelle imaginée pour concilier l'origine du granit avec l'opinion admise sur sa haute antiquité. — Explication de la nomenclature chronologique adoptée dans cet ouvrage, quant aux périodes primaire, secondaire et tertiaire.

Dans le premier chapitre de cet ouvrage, nous avons établi quatre grandes classes de roches : aqueuses, volcaniques, plutoniques et métamorphiques ; nous avons dit qu'elles devaient être considérées, chacune, non-seulement sous le rapport de leurs caractères minéralogiques et de leur origine, mais encore sous celui de leur âge relatif. Quant aux roches aqueuses en particulier, nous avons vu qu'elles étaient stratifiées ; que les unes étaient calcaires, les autres argileuses ou siliceuses, quelques-unes composées de sable, quelques autres de galets ; que certaines renfermaient des fossiles d'eau douce, d'autres des fossiles marins, et ainsi de suite. Mais l'élève ne sait pas encore à quelles époques de l'histoire de la terre telles ou telles de ces roches ont été formées.

Il est plus facile de déterminer l'âge des formations fossilifères que celui de toute autre classe de formations. La méthode la plus convenable et la plus naturelle consiste à établir d'abord une chronologie de ces formations, puis à rapporter autant que possible aux mêmes divisions les différents groupes de roches plutoniques, volcaniques ou méta-

morphiques. Ce système de classification se recommande non-seulement par sa grande clarté et la facilité qu'il offre aux applications, mais encore par la manière dont il frappe l'imagination en déroulant le tableau des révolutions contemporaines des créations inorganiques et organiques des premiers âges.

Mais, avant d'aborder dans leur ordre d'âge les sous-divisions des roches aqueuses, il est bon de dire quelques mots de la chronologie des roches en général, bien qu'en procédant de la sorte, nous risquions inévitablement de toucher à certaines classes de phénomènes que le commençant ne sera pas encore tout à fait à même de comprendre parfaitement.

Pendant longtemps, on a considéré comme certain que des familles entières de roches, telles que les roches plutoniques et les schistes cristallins métamorphiques, avaient dû commencer et finir avant la formation de tout autre membre de l'ordre des roches aqueuses et volcaniques; bien que cette opinion se soit modifiée avec le temps et qu'on l'ait presque abandonnée aujourd'hui, il est cependant nécessaire de donner ici quelques explications sur cette ancienne doctrine, afin de faire connaître aux élèves la source et l'origine de plusieurs théories qui ont successivement prévalu, et d'une partie de la nomenclature géologique encore aujourd'hui en usage.

Vers le milieu du siècle dernier, un mineur allemand, Lehmann, proposa de diviser les roches en trois classes : la première, sous le nom commun de *roches primitives*, comprenait les plus anciennes, les hypogènes, ou plutoniques et métamorphiques; la classe suivante, *roches secondaires*, comprenait les couches aqueuses ou fossilifères; la troisième correspondait à notre alluvium, tant ancien que moderne : l'auteur la rapportait à des « inondations locales et au déluge de Noé ». Dans la classe des roches primitives, disait-il, dans le granit et le gneiss, par exemple, on ne trouve ni débris organiques, ni trace de matières provenant de la destruction de roches préexistantes; leur origine a pu être pure-

ment chimique, antérieure à la création des êtres vivants, et probablement contemporaine du commencement même du monde. Les formations secondaires, au contraire, qui contiennent souvent du sable, des cailloux roulés et des débris organiques, ont dû être déposées mécaniquement, et se sont produites après que notre planète eut commencé à servir de demeure aux animaux et aux plantes. Cette généralisation hardie, bien qu'entrevue déjà par Sténon, en Italie, un siècle auparavant, marqua dans les progrès de la géologie une étape importante, et fournit à la classification des roches une sorte d'esquisse exacte de quelques-unes de ses divisions principales. A peu près un demi-siècle plus tard, Werner, si justement célèbre par l'excellence des méthodes qu'il imagina pour distinguer les caractères minéralogiques des roches, entreprit de perfectionner la classification de Lehmann, et, sous le nom de *formations de transition*, il intercala une quatrième classe entre les terrains primitifs et les terrains secondaires. Il avait découvert, entre ces deux derniers terrains, dans le nord de l'Allemagne, une série de couches qui, sous le rapport de leurs particularités minéralogiques, offraient un caractère intermédiaire, participant jusqu'à un certain point de la nature cristalline du micaschiste et du schiste argileux, bien que montrant çà et là des traces d'une origine mécanique, et des débris organiques. Pour ce groupe, qui formait un passage entre les roches primitives et les roches secondaires de Lehmann, Werner proposa le nom de *übergang*, ou *transition*; le nouveau terrain se composait en partie de lits calcaires, mais principalement de grès et de schistes argileux appelés grauwackes. Dans le district où Werner fit ses premières recherches, les couches primitives et les couches de transition se trouvaient fortement inclinées, tandis que les couches de roches fossilifères plus modernes, ou roches secondaires de Lehmann, étaient horizontales. A ces dernières, Werner donna donc le nom de *flötz*, ou plancher de niveau, et il désigna tous les dépôts plus modernes que la craie, rangée par lui au sommet de la série du flötz, sous

le nom de *terres supérieures inondées*, expression que l'on peut regarder comme l'équivalent d'alluvium, bien qu'elle comprît toutes les couches qui furent plus tard appelées tertiaires, et sur lesquelles Werner n'eut que des idées très imparfaites. Mais les géologues qui suivirent Werner ne tardèrent pas à apercevoir que la position inclinée des *couches de transition* et l'horizontalité du *flötz* ou couches fossilifères plus modernes, étaient de simples accidents locaux; bientôt ils abandonnèrent l'expression de flötz, et les quatre divisions de l'école de Werner reçurent les noms de *terrains primitif*, *de transition*, *secondaire* et *alluvial*.

Quant aux roches trappéennes, bien que leur origine ignée eût été déjà démontrée par Arduino, Fortis, Faujas, et spécialement par Desmarest, Werner continua de les regarder comme d'origine aqueuse et comme formant de simples membres subordonnés dans les séries secondaires (1).

Cette théorie fut appelée *théorie neptunienne*, et pendant de nombreuses années elle jouit de beaucoup de popularité. Elle admettait que le globe avait été primitivement enveloppé d'un océan chaotique, universel, tenant tous les éléments des roches en dissolution. Des eaux de cet océan s'étaient précipités d'abord le granit, le gneiss et les autres formations cristallines; ensuite, lorsque les eaux, débarrassées de ces matières, eurent pris plus de ressemblance avec celles de nos mers actuelles, les couches de transition s'étaient déposées à leur tour. Ces couches avaient pris des caractères mixtes; elles n'étaient pas de formation purement chimique, car les vagues et les courants avaient déjà commencé à entraîner de la terre solide et à produire des galets, du sable et du limon; elles n'étaient point non plus tout à fait dépourvues de fossiles, car quelques-uns des premiers animaux marins avaient commencé d'exister. Après cette période, les formations secondaires s'étaient accumulées dans des eaux ressemblant à celles de l'Océan actuel, excepté à de certains intervalles

(1) Voyez les *Principes de géologie*, vol. I, chap. IV.

où, par des causes tout à fait inexpliquées, il s'était accompli un retour partiel du *fluide chaotique*, durant lequel se formèrent les différentes roches trappéennes, quelques-unes très cristallines. Cette hypothèse gratuite rejetait toute intervention de l'action ignée; les volcans étaient regardés comme des phénomènes modernes, des accidents partiels et superficiels, d'importance légère comparativement aux grandes causes qui avaient modifié la structure extérieure du globe.

Cependant, Hutton, contemporain de Werner, commençait à démontrer en Écosse que le granit et que le trapp étaient d'origine ignée, et s'étaient, à différentes époques, répandus à l'état fluide dans les diverses parties de l'écorce de la terre. Il reconnut et décrivit très exactement plusieurs des phénomènes des filons granitiques et les altérations qu'ils avaient produites sur les couches envahies, sujet dont il sera question dans le trente-troisième chapitre. Il émit, de plus, l'opinion que les couches cristallines, appelées primitives, n'avaient point été précipitées des eaux d'un océan primordial, mais étaient des couches sédimentaires altérées par la chaleur. Dans les écrits de Hutton, et par conséquent dans ceux de son commentateur Playfair, on trouve le germe de la théorie métamorphique. Nous en avons déjà dit quelques mots dans le premier chapitre; elle sera exposée avec plus de développements dans les trente-quatrième et trente-cinquième. Enfin, après beaucoup de controverses, la doctrine de l'origine ignée du trapp et du granit prit généralement faveur; mais, bien que l'on admît comme conséquence que les deux roches, granit et trapp, avaient été produites à plusieurs époques successives, les épithètes de *primitives* ou *primaires* continuèrent à être appliquées aux formations cristallines en général, soit qu'elles fussent stratifiées comme le gneiss, ou non stratifiées comme le granit. On enseigna dans les écoles que le granit était une roche primaire, mais que quelques granits étaient plus modernes que certaines formations secondaires; et pour se con-

former à l'esprit de l'ancien langage qu'ils tenaient naturellement à maintenir, les professeurs cherchèrent à atténuer l'importance de ces granits plus modernes, dont les observations nouvelles venaient à chaque instant dévoiler les véritables dates.

On vit persister une tendance non moins prononcée à conserver l'usage du terme *transition*, après même qu'il fut prouvé que ce mot était presque aussi fautif, dans son application première, que celui de *flötz*. Le mot *transition*, comme nous l'avons dit, fut pour la première fois employé par Werner en vue de désigner un caractère minéralogique intermédiaire entre l'état essentiellement cristallin ou métamorphique, et celui d'une roche fossilifère ordinaire. Mais cette expression acquit aussi tout d'abord une signification chronologique par l'application qu'on en fit à des formations sédimentaires qui, dans le Hartz et dans d'autres parties de l'Allemagne, se trouvaient plus anciennes que les moins récentes de la série secondaire, et étaient, en outre, caractérisées par des fossiles particuliers, zoophytes et coquilles. Lorsque, plus tard, les géologues rencontrèrent, dans d'autres districts, des roches stratifiées occupant la même position et renfermant des fossiles semblables, ils leur donnèrent, conformément aux règles que nous expliquerons dans le prochain chapitre, le nom de *roches de transition*, quoi qu'elles n'offrissent pas toujours la même texture minérale que celles que Werner avait désignées par le mot transition. Plusieurs d'entre elles, au contraire, n'étaient pas plus cristallines que différents membres de la classe des roches secondaires, tandis que d'autres présentaient quelquefois une texture demi-cristalline et presque un aspect métamorphique, de manière à mériter également, sous le rapport lithologique, le nom de roches de transition. Cette circonstance était tellement frappante dans les Alpes de la Suisse, que certaines roches classées depuis bien des années par quelques-uns des plus habiles disciples de Werner parmi les roches de transition, devinrent, dès que leur posi-

tion relative et leurs fossiles furent mieux connus, des membres des étages les plus modernes des groupes secondaires; on a même découvert aujourd'hui que quelques-unes de ces roches appartiennent à la série tertiaire inférieure! Si, dans ce cas particulier, le nom de transition eût été maintenu, il est clair qu'il aurait dû être appliqué, sans égard pour l'âge des couches, et simplement comme expression d'une particularité minéralogique. L'application de ce mot que l'on continua de faire à des formations d'une date donnée, porta des géologues à penser que les anciennes couches comprises sous cette dénomination ressemblaient moins aux formations secondaires qu'elles ne leur ressemblent en réalité, et à imaginer que ces dernières formations ne passaient jamais aux roches métamorphiques, comme elles le font fréquemment, au contraire.

Le poëte Waller, en déplorant le style vieilli de Chaucer, se plaint ainsi :

We write in sand, our language grows,
And, like the tide, our work o'erflows.

« Nous écrivons sur le sable, notre langâge grandit, et, comme la marée, déborde notre ouvrage. »

En géologie, c'est l'inverse qui est vrai, car c'est notre œuvre qui déborde continuellement notre langage. Le flot de l'observation avance avec une telle rapidité, que les perfectionnements de la théorie précèdent les changements de la nomenclature, et, essayer de traduire de nouvelles vérités par des mots employés d'abord à exprimer une opinion différente ou contraire, c'est tendre, par la force de l'association, à perpétuer l'erreur; de telle sorte que des dogmes, bien qu'abandonnés par la raison, laissent encore derrière eux une forte empreinte sur l'imagination.

Ce fut dans la vue de concilier les anciennes idées sur la chronologie des formations avec la nouvelle doctrine de l'origine ignée du granit, que l'hypothèse suivante a été substituée à celle des Neptunistes. On a supposé que les matières

qui composent la croûte actuelle de la terre, au lieu de commencer par une dissolution aqueuse ou fluide chaotique, avaient été d'abord dans un état de fusion ignée, jusqu'au moment où, par suite de la diffusion d'une partie de la chaleur dans l'espace environnant, la surface du fluide se consolida et forma une croûte de granit.

Cette enveloppe de roches cristallines, qui prit, par la suite, une épaisseur de plus en plus considérable à mesure qu'elle se refroidit, était, dans le principe, à une température tellement élevée, que l'eau ne pouvait exister à sa surface ; mais, à mesure que le refroidissement augmenta, la vapeur aqueuse contenue dans l'atmosphère se condensa, et, tombant en pluie, donna naissance au premier *océan thermal.* La chaleur de cette mer bouillante était telle, que nuls êtres aquatiques n'auraient pu en habiter les eaux, et que les dépôts qui s'y formèrent non-seulement furent dépourvus de fossiles, mais encore prirent, comme ceux de quelques sources chaudes, une structure cristalline bien caractérisée. De là l'origine des couches primaires, cristallines, gneiss, micaschiste et autres.

Lorsqu'en suite, la croûte granitique vint à être brisée partiellement, des terres et des montagnes commencèrent à s'élever au-dessus de la surface des eaux, les pluies et les torrents désagrégèrent les roches et donnèrent naissance aux sédiments qui se répandirent sur le fond des mers. Bien qu'elle ne fût pas assez intense pour empêcher l'apparition et le développement de quelques êtres vivants, la chaleur qui subsistait encore au sein de la base solide était suffisante pour augmenter l'action chimique exercée par l'eau, et c'est durant cet état de choses qu'eut lieu la précipitation d'une partie des éléments minéralogiques restés dans l'océan primordial ; il en résulta des dépôts (couches de transition de Werner) formés par voie moitié chimique et moitié mécanique, et qui continrent quelques fossiles.

Cette nouvelle théorie, qui n'était en partie qu'une résurrection de la doctrine de Leibnitz, publiée en 1680, sur l'origine ignée de notre planète, maintenait les vieilles idées sur

la formation des roches cristallines avant toute apparition des êtres vivants, et, avec elle, se perpétua l'opinion erronée que toutes les roches, demi-cristallines et partiellemeut fossilifères, appartenaient à une période distincte, tandis que les formations terreuses et non cristallines dataient d'une époque plus récente.

Il peut être vrai comme il peut être faux, ainsi que l'a pensé le grand Leibnitz, que notre planète ait été autrefois à l'état complet de liquéfaction ignée; mais il n'existe certainement aucune preuve géologique que le granit, qui constitue la base d'une si grande portion de la croûte terrestre, ait été lui-même à un état de fusion universelle. Tout porte à croire, au contraire, que la formation du granit, de même que le dépôt des roches stratifiées, a été successive, et que différentes portions de ce granit n'ont été en fusion qu'à des époques distinctes et souvent éloignées. Telle masse s'est consolidée et a été fracturée avant qu'une autre masse de matière granitique ait été injectée dans la première ou l'ait traversée sous forme de filons. Quelques granits sont plus anciens qu'aucune des roches fossilifères ; d'autres sont secondaires, et quelques-uns, comme celui du Mont-Blanc et d'une partie de la chaîne centrale des Alpes, sont d'origine tertiaire. En un mot, la fluidité universelle des fondements cristallins de la croûte terrestre ne peut s'entendre que dans le sens de l'universalité de l'ancien Océan. Toutes les terres ont été sous l'eau, mais toutes ne l'ont pas été en même temps; de même, toutes les roches souterraines non stratifiées auxquelles nous pouvons avoir accès ont été à l'état de fusion, mais chacune à des temps différents.

Dans cet ouvrage, les quatre grandes classes de roches : aqueuses, plutoniques, volcaniques et métamorphiques, formeront quatre colonnes parallèles, ou presque parallèles, réunies dans un tableau chronologique. Elles seront considérées comme quatre ordres de monuments ayant rapport à quatre séries d'événements contemporains ou presque contemporains. Je m'efforcerai, en traitant des roches plutoniques, dans

le chapitre suivant, de faire comprendre comment certaines masses appartenant à chacune des quatre classes de roches ont pu se produire simultanément pendant chaque période géologique, et comment, depuis des temps infiniment reculés, la croûte terrestre a pu se modifier continuellement dans sa forme, au-dessus et au-dessous, sous l'influence des causes aqueuses et des causes ignées. De même que des couches aqueuses et fossilifères se forment aujourd'hui dans certaines mers et certains lacs, tandis que, sur d'autres points, on voit apparaître des roches volcaniques issues des réservoirs de matières fondues qui existent à de vastes profondeurs dans les entrailles de la terre; de même, à chaque époque du passé, des dépôts fossilifères et des roches ignées se sont produits à la surface, concurremment avec d'autres dépôts souterrains et d'origine plutonique, en même temps que certaines couches sédimentaires, soumises à l'action de la chaleur, ont acquis une structure cristalline ou métamorphique.

On ne saurait considérer comme établi que, durant tous ces changements, la croûte solide de la terre ait augmenté en épaisseur. Il a été démontré qu'en ce qui concerne l'action aqueuse, le gain par les dépôts d'eau douce, et la perte par la dénudation, ont été compensés à chaque période (voyez ci-dessus, page 109) ; il en a dû être de même pour la portion inférieure de la croûte terrestre, et le bénéfice en nouvelles roches cristallines, à chaque époque successive, n'a fait que contre-balancer la perte résultant de la fusion de matières antérieurement consolidées. Quant à l'ancienneté relative des fondements cristallins de la croûte terrestre comparée à celle des roches fossilifères et volcaniques qu'ils supportent, j'ai déjà prouvé, dans le premier chapitre, que formuler une opinion sur ce sujet est chose aussi difficile que de décider si, dans une ancienne ville bâtie sur pilotis, ce sont les fondements ou bien les étages qui sont les plus anciens. Nous avons vu que, pour répondre à cette question, il fallait d'abord être prêt à dire si le travail de destruction et de restauration avait eu lieu plus rapidement

dessus ou dessous; si la durée des pilotis avait dépassé celle des constructions en pierres, ou avait été moindre. Il en est de même quant à l'âge relatif des portions supérieure et inférieure de la croûte terrestre; nous ne pouvons hasarder même une simple conjecture jusqu'à ce que nous sachions laquelle, de l'eau agissant en dessus, ou de la chaleur qui agit en dessous, est la plus efficace pour donner de nouvelles formes à la matière solide.

Après les observations qui précèdent, le lecteur comprendra que l'on peut renoncer entièrement au mot primaire, ou qu'on doit, s'il est conservé, le définir différemment, et ne point l'employer pour désigner un groupe de roches cristallines dont quelques-unes sont certainement plus récentes qu'aucune des formations secondaires. Dans cet ouvrage, je suivrai presque constamment la méthode proposée par M. Boué, qui réunit sous le nom de *primaires* toutes les roches *fossilifères* plus anciennes que les secondaires. Pour prévenir la confusion, j'emploierai quelquefois, en expliquant ces dernières, le nom de formations *primaires fossilifères*, car le mot primaire a généralement impliqué, jusqu'à ce jour, l'idée d'une roche non fossilifère. Dans le même but, certains géologues, tout en conservant les expressions de secondaire et tertiaire, ont substitué au mot primaire celui de *paléozoïque* (de παλαιὸν, ancien, et ζῶον, être organisé). M. Phillips, par esprit d'uniformité, a proposé, pour secondaire, le terme *mésozoïque* (dérivé de μέσος, milieu, etc.), et pour tertiaire, *caïnozoïque* (de καινὸς, récent, etc.); mais les mots primaire, secondaire et tertiaire sont synonymes des précédents, et ils ont pour eux le droit de priorité.

Toute roche plutonique, volcanique ou métamorphique, que nous prouverons être plus ancienne que les formations secondaires, sera donc pour nous une roche primaire. M. Boué, ayant, avec raison, exclu *comme classe*, des formations primaires, les roches métamorphiques, a proposé de les appeler *schistes cristallins*.

De même qu'il y a des couches fossilifères secondaires, de

même aussi il existe des roches plutoniques, volcaniques et métamorphiques contemporaines des précédentes; nous leur appliquerons le mot de *secondaires*.

Dans le chapitre prochain, nous ferons voir que les couches supérieures à la craie ont été appelées tertiaires. Si donc nous découvrons quelques roches volcaniques, plutoniques ou métamorphiques qui aient été engendrées depuis le dépôt de la craie, nous les rangerons encore dans les formations tertiaires.

On objectera peut-être que certaines couches métamorphiques et quelques granits sont antérieurs aux roches fossilifères primaires les plus anciennes. Cette opinion est sans doute fondée, et sera discutée dans les chapitres suivants; mais je dois faire observer ici que lorsque nous disposons dans un tableau chronologique les quatre classes de roches en quatre colonnes parallèles, nous ne prétendons pas que ces quatre colonnes soient de longueur égale; l'une d'elles peut commencer plus bas, et une autre monter plus haut. Dans la faible portion du globe qui a été reconnue jusqu'à ce jour, il est difficile que l'on ait découvert les membres les plus anciens ou les plus nouveaux de chacune des quatre classes de roches. Ainsi, nous savons qu'il existe des roches primaires, secondaires et tertiaires de la classe de celles qui ont été formées par l'eau ou qui sont fossilifères, et, de même, des formations primaires, secondaires et tertiaires hypogènes, mais nous pouvons ne pas connaître encore les plus anciennes des couches primaires fossilifères ou les plus modernes des couches hypogènes.

CHAPITRE IX.

SUR LES DIFFÉRENTS AGES DES ROCHES AQUEUSES.

Des trois caractères principaux qui distinguent l'âge relatif. — Superposition, caractère minéralogique et fossiles. — Changements des caractères minéralogique et paléontologique dans la même formation. — Preuves de l'existence d'espèces différentes d'animaux et de plantes aux époques successives. — Circonscriptions distinctes d'espèces indigènes. — Extension considérable de simples circonscriptions. — Des lois semblables ont prévalu aux époques géologiques successives. — Importance relative des caractères minéralogique et paléontologique. — Indication de l'âge des roches, par les fragments qu'elles renferment. — Absence fréquente de couches appartenant à des périodes intermédiaires. — Principaux groupes de couches, dans l'Europe occidentale.

Dans le dernier chapitre, j'ai parlé d'une manière générale des rapports chronologiques des quatre grandes classes de roches; maintenant, je vais traiter de roches aqueuses en particulier, ou des périodes successives pendant lesquelles les différentes formations fossilifères ont été déposées.

Trois caractères principaux peuvent servir à déterminer l'âge d'un groupe de couches : d'abord la supposition, puis le caractère minéralogique, et enfin les débris organiques. Une quatrième sorte de caractère peut fournir accidentellement quelques lumières : c'est l'existence, au sein d'un dépôt, de fragments appartenant à une roche préexistante ; elle permet d'établir l'âge relatif des deux roches, même en l'absence de tout autre témoignage.

Superposition. — Pour déterminer l'âge d'un dépôt aqueux comparativement à celui d'un autre dépôt de même genre, le principal caractère est la position relative. Nous avons déjà dit que, dans une série de couches horizontales, la première en commençant par le haut était la plus nouvelle, et la dernière la plus ancienne. Les séries de formations sédimentaires

sont comme les tomes successifs d'une histoire, que chaque écrivain, après avoir retracé les événements de son siècle, aurait renversés sur le tome renfermant les annales de la période précédente, de telle sorte que la dernière page se trouverait au-dessus. De cette façon, une haute pile de chroniques s'accumulerait à la longue, et sa position suffirait pour indiquer l'ordre et la suite des événements qui y seraient relatés.

Il existe toutefois des régions où, comme nous l'avons déjà dit, les couches ont été dérangées, disloquées, quelquefois même tout à fait renversées (voyez page 82); mais un géologue expérimenté ne se laisse pas facilement égarer par ces cas exceptionnels. Lorsqu'il rencontre des couches fracturées, recourbées, inclinées ou verticales, il sait à l'avance qu'il lui faut rechercher l'ordre primitif de superposition, et il s'efforce de trouver dans quelque district du voisinage des coupes où les couches soient restées horizontales ou très légèrement inclinées. Ce n'est qu'après avoir réussi, qu'il connaît l'ordre véritable de succession de la série des dépôts, et possède la clef qui établit la chronologie des couches, même sur les points où le déplacement est le plus considérable.

Caractère minéralogique. — Si les couches que forment les roches ne sont pas dérangées, celles-ci conservent souvent un caractère minéralogique identique sur une étendue de plusieurs kilomètres, ou même de plusieurs centaines de kilomètres, dans le sens horizontal; mais, dans le sens vertical, ou dans toute direction oblique aux plans de stratification, cette identité cesse presque immédiatement, et l'on ne peut pénétrer dans la masse stratifiée, à une profondeur de quelques centaines de mètres, sans rencontrer une succession de roches extrêmement différentes, les unes à grain fin, les autres à grain grossier; quelques-unes d'origine mécanique, d'autres d'origine chimique; ici la roche est calcaire, plus loin elle est argileuse, ailleurs elle est siliceuse. Cette circonstance mène à conclure que les rivières et les torrents ont répandu le même sédiment sur de larges surfaces durant la même

période géologique, mais qu'à des époques successives ils ont déposé, dans une région donnée, des matières très différentes. Les premiers observateurs ont été si vivement frappés des grandes étendues sur lesquelles on peut suivre la même roche homogène, qu'ils en ont conclu sans hésiter que le globe entier était enveloppé d'une succession de formations aqueuses distinctes, disposées autour du noyau de la planète comme les couches concentriques d'un oignon. Mais, bien qu'en réalité quelques formations soient continues sur des surfaces larges comme la moitié de l'Europe, et même au delà, la plupart d'entre elles sont resserrées dans des limites beaucoup plus étroites, ou changent bientôt de caractère lithologique. Quelquefois elles s'amincissent graduellement comme si l'apport du sédiment eût diminué, ou bien elles finissent brusquement comme si elles eussent atteint le bord de l'ancienne mer ou de l'ancien lac qui leur servait de réceptacle. Il n'est pas rare non plus de les voir varier d'aspect minéralogique et de composition dans le sens horizontal. Par exemple, un calcaire pourra, sur une longueur de 150 kilomètres, devenir de plus en plus arénacé jusqu'à ce qu'il passe à l'état de sable ou à celui de grès; et, à son tour, ce grès, dont la continuité avec le calcaire indique qu'il est du même âge, se continuera sur une semblable étendue, ou même plus encore.

Débris organiques. — Ce caractère peut être utilisé comme critérium de l'âge d'une formation ou de l'origine contemporaine de deux dépôts sur des points séparés; on fera toutefois les mêmes réserves que pour le caractère minéralogique.

D'abord, lorsqu'on suit les couches dans la direction de leurs plans, on peut rencontrer les mêmes fossiles, sinon sur des surfaces illimitées, du moins sur de très vastes espaces.

En second lieu, tandis que les mêmes fossiles dominent dans un groupe particulier de couches, sur une longueur de plusieurs centaines de kilomètres dans le sens horizontal, on rencontre rarement les mêmes débris sur une profondeur

de plusieurs mètres, et très rarement sur celle de plusieurs centaines de mètres au travers des couches. Ce fait a été constaté dans presque toutes les parties du globle, et l'on en a conclu qu'à différentes époques, la même surface, inondée ou exondée, avait été habitée par des espèces d'animaux et de plantes plus différentes entre elles que celles qui peuplent aujourd'hui les Antipodes ou qui coexistent dans les zones arctique, tempérée et tropicale. Il y aurait eu, à dater des temps les plus reculés, des apparitions successives de nouvelles formes organiques, et des destructions correspondantes de formes préexistantes; quelques espèces se seraient maintenues plus longtemps, d'autres auraient eu une durée plus courte, mais aucune n'aurait réapparu après avoir été anéantie. La loi qui aurait régi la création et la destruction des espèces semble exprimée dans ce vers du poëte :

Natura il fece, e poi ruppe la stampa. (Ariosto.)

« La nature le créa, et puis brisa le moule. »

Cette circonstance donne aux fossiles la plus haute valeur comme caractère chronologique, en conférant à chacun d'eux cette autorité qui appartient, dans l'histoire, aux médailles contemporaines des événements.

On ne peut en dire autant de chaque variété particulière de roches; quelques-unes, par exemple la marne rouge et le grès rouge, se rencontrent à la fois au sommet, à la base et au milieu de la série sédimentaire, et montrent sur chacun de ces points une identité si complète, que l'on ne saurait les distinguer. Toutefois, comme des retours aussi exacts des mêmes matières de sédiment n'ont eu lieu que rarement, à des époques successives, sur un même point du globe, on court, même dans les endroits où ils se sont produits, peu de risque de confondre les époques de dépôts, si l'on peut étudier les fossiles et la position relative des couches.

Nous avons fait remarquer que les mêmes espèces de débris organiques ne pouvaient se continuer horizontalement, c'est-à-dire dans la direction des plans de stratification, sur des

surfaces infinies ; l'analogie demandait qu'il en fût ainsi, car, lorsqu'on examine la distribution actuelle des êtres vivants, on trouve que la surface habitable de la mer et de la terre est divisée en un nombre considérable de provinces distinctes, peuplées, chacune, par un ensemble particulier d'animaux et de plantes. Dans les *Principes de géologie*, je me suis efforcé de déterminer l'étendue et l'origine probable de ces circonscriptions ; j'ai démontré que le climat n'était que l'une des nombreuses causes qui les produisent, et que la différence de longitude, aussi bien que celle de latitude, était généralement accompagnée d'une différence d'espèces indigènes.

Si donc, les différentes mers ou lacs sont habités, pendant la même période, par des espèces différentes d'animaux et de plantes aquatiques, et si les terres environnantes sont peuplées elles-mêmes d'espèces terrestres distinctes, il s'ensuit qu'on pourra trouver des fossiles distincts enfouis dans des dépôts contemporains. S'il en était autrement, si les mêmes espèces abondaient dans chaque climat et dans chaque partie du globe où se trouveraient réunies la correspondance de température et les autres conditions favorables à leur développement, la détermination de la contemporanéité des masses minérales, au moyen de leurs contenus organiques, offrirait bien plus de certitude.

Néanmoins l'étendue de certaines provinces zoologiques particulières, spécialement de celles qui sont habitées par des animaux marins, est aujourd'hui très considérable ; nos recherches géologiques ont démontré que les mêmes lois ont prévalu à des époques éloignées, car les fossiles sont souvent identiques sur de vastes surfaces, et même dans des dépôts séparés de roches qui varient entre elles du tout au tout quant à leur nature minéralogique.

On comprendra mieux les considérations qui précèdent si l'on réfléchit à ce qui se passe actuellement dans la Méditerranée. Cette mer peut être considérée comme une seule province zoologique ; car, bien que certaines espèces de testacés et de zoophytes y soient très locales, et que chaque

région ait probablement quelques espèces qui lui soient propres, un nombre considérable des mêmes êtres organisés se rencontre sur toute son étendue. Que le lit de cette mer vienne un jour à être mis à sec, et les débris organiques fourniront aux géologues un moyen sûr de déterminer l'origine contemporaine des masses minérales variées répandues sur un espace qui égale la moitié de l'Europe.

On sait que des dépôts sont aujourd'hui en voie de formation dans les deltas du Pô, du Rhône, du Nil et d'autres fleuves qui diffèrent les uns des autres par la nature de leur sédiment, suivant la composition des montagnes d'où ces fleuves proviennent. Il existe encore d'autres points de la Méditerranée, tels que la côte de Campanie, le voisinage de l'Etna en Sicile, ou l'Archipel grec, sur lesquels une autre classe de roches est en voie de formation. Des pluies de cendres volcaniques y tombent accidentellement dans la mer, et des courants de lave coulent sur le fond; en outre, dans l'intervalle des éruptions, des lits de sable et d'argile s'y accumulent fréquemment par suite de la destruction des falaises ou de l'afflux des eaux troubles des rivières; enfin, des calcaires, tels que les travertins italiens, se précipitent çà et là des sources minérales qui sourdent du fond de la mer. Toutes ces formations séparées, si diverses par leurs caractères lithologiques, renferment les débris des mêmes coquilles, coraux, crustacés et poissons, ou du moins, les débris communs aux différentes localités y sont en nombre assez considérable pour autoriser le géologue à les rapporter tous à un seul ensemble d'espèces contemporaines.

Certaines combinaisons dans les circonstances géographiques peuvent faire, cependant, que des provinces distinctes d'animaux et de plantes ne soient séparées l'une de l'autre que par des limites étroites, et des couches formées dans des régions contiguës différeront essentiellement quant à leur contenu minéralogique et à leurs débris organiques. Les testacés, zoophytes et poissons de la mer Rouge, par exemple, sont, comme groupe, très distincts de ceux qui habitent les

parties adjacentes de la Méditerranée, bien que les deux mers ne soient séparées que par l'isthme étroit de Suez. Parmi les coquilles bivalves, suivant Philippi, un cinquième seulement sont communes à la mer Rouge et à la mer qui entoure la Sicile, tandis que la proportion des univalves ou gastéropodes, est encore plus faible et ne dépasse pas 16 pour 100. Des formations calcaires se sont accumulées sur une grande échelle dans la mer Rouge, pendant les temps modernes, et renferment des coquilles fossiles d'espèces vivantes. Nous savons aussi qu'à l'embouchure du Nil s'amassent de larges dépôts de limon qui englobent des débris d'espèces méditerranéennes. Si donc, à quelque époque future, le lit de la mer Rouge venait à être mis à sec, l'observateur éprouverait de grandes difficultés à établir l'âge relatif de ces formations, dissemblables à la fois par leurs caractères organiques et minéralogiques, quoique ayant une origine contemporaine.

D'un autre côté, il ne faut pas oublier que les côtes nord-ouest du golfe d'Arabie, les plaines de l'Égypte et l'isthme de Suez font partie d'une seule et même province d'espèces *terrestres*, et que de petits ruisseaux, des inondations accidentelles et les vents qui chassent des nuages de sable à travers les déserts, peuvent apporter dans la mer Rouge les coquilles de testacés terrestres et fluviatiles que le Nil abandonne sur son delta, les mêler avec quelques débris de plantes terrestres et d'ossements de quadrupèdes, de telle sorte que, malgré la différence de leur composition minérale et leurs fossiles *marins*, les groupes de couches nous offrent encore des preuves de leur contemporanéité.

Cependant, bien que les rivières puissent ainsi entraîner les mêmes dépouilles fluviatiles et terrestres dans plusieurs mers habitées par des espèces marines différentes, il sera bien plus fréquemment possible d'établir la contemporanéité d'espèces terrestres appartenant à des provinces zoologiques et botaniques distinctes, par l'identité des êtres marins qui ont habité l'espace intermédiaire. Voyez les quadrupèdes ter-

restres et les coquilles du sud de l'Europe, du nord de l'Afrique et du nord-ouest de l'Asie, ils diffèrent considérablement entre eux, et pourtant leurs débris sont portés ensemble au sein de la Méditerranée par les rivières qui parcourent ces régions.

Dans quelques parties du globe, de nos jours, la ligne de démarcation entre des provinces distinctes d'animaux et de plantes n'est pas parfaitement tranchée, surtout vers les points où les changements de faune et de flore sont déterminés par la température, comme dans les mers qui s'étendent de la zone tempérée à la zone tropicale, ou de la zone tempérée aux régions arctiques; sur chacun de ces points on reconnaît le passage d'un groupe d'espèces à l'autre. Aussi n'est-ce qu'en étudiant des formations particulières d'époques éloignées les unes des autres que le géologue parvient quelquefois à saisir la transition d'une ancienne province à l'autre, après avoir observé les fossiles de tous les points intermédiaires. Le succès de ses investigations sur la géographie zoologique ou botanique de ces périodes éloignées dépendra principalement de cette circonstance, que le caractère minéralogique ne sera pas sujet à varier par le climat. Qu'une large rivière entraîne du limon jaune ou rouge vers quelque point de l'Océan; que ce limon soit ensuite dispersé par un courant sur une longueur de plusieurs centaines de kilomètres, de manière à passer des tropiques à la zone tempérée; si le fond de la mer vient plus tard à s'élever, les débris organiques enfouis dans ces couches jaunes ou rouges pourront indiquer les différents animaux ou plantes qui ont jadis habité en même temps des régions tempérées et des régions équatoriales.

Il se peut, en général, que des groupes de mêmes espèces d'animaux et de plantes s'étendent sur de plus larges surfaces que les dépôts de même composition; dans ce cas, les caractères paléontologiques auront plus d'importance dans la classification géologique que le caractère de la composition minérale. Mais il serait oiseux de discuter la valeur relative de ces caractères; ils se prêtent un secours mutuel,

indispensable, et il arrive heureusement que lorsque l'un d'eux vient à manquer, on peut souvent profiter de l'autre.

Caractère fourni par l'inclusion de fragments de roches plus anciennes. — Nous avons fait voir que l'on déduit quelquefois la preuve de l'âge relatif de deux formations, de ce que des fragments de roche anciennes sont renfermés dans une roche plus nouvelle. Cette preuve est, dans certains cas, d'une application très utile, par exemple lorsque le géologue manque de coupes bien nettes qui indiquent le véritable ordre de position des formations dont il veut déterminer l'âge relatif, ou que les couches de chaque groupe affectent une direction verticale. Dans ces différents cas, on remarque quelquefois que les roches plus modernes dérivent en partie de la dégradation de roches plus anciennes. Ainsi, sur tel point d'une contrée, on rencontre de la craie avec silex, et, sur tel autre, une formation distincte, consistant en alternances d'argile, de sable et de galets. Si quelques-uns de ces galets sont des silex semblables aux précédents, renfermant des coquilles fossiles, des éponges et des foraminifères des mêmes espèces que celles de la craie, on est en droit de conclure que la craie est la plus ancienne des deux formations.

Groupes chronologiques. — Le nombre de groupes que l'on peut établir dans les couches fossilifères est plus ou moins considérable suivant le point de vue auquel on se place pour la classification ; mais, lorsqu'on a adopté un système d'arrangement, on ne tarde pas à s'apercevoir qu'on ne rencontre en superposition continue qu'un petit nombre des groupes de la série totale.

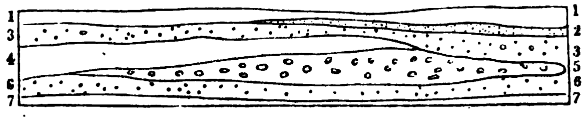


FIG. 104.

Nous avons expliqué (page 26) l'amincissement des couches ; la figure 104 représente sept groupes fossilifères, au

lieu d'un nombre égal de couches particulières. On observe, vers son milieu, toutes les formations en superposition ; mais, par suite de leur amincissement, quelques-unes, telles que les nos 2 et 5 manquent à l'une des extrémités de la coupe, et le no 4 à l'autre extrémité.

Dans une autre figure (105), le lecteur verra une coupe réelle des formations du voisinage de Bristol et des collines

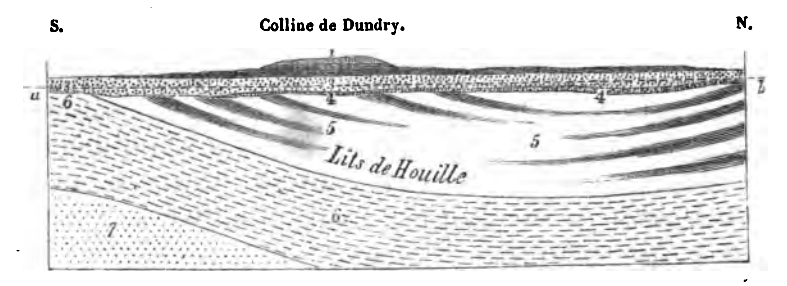


FIG. 105. — Section Sud de Bristol. (A.-C. Ramsay.)
Longueur de la section : 6 kilomètres. — *a b.* Niveau de la mer.

1. Oolite inférieure. — 2. Lias. — 3. Nouveau Grès Rouge. — 4. Conglomérat magnésien. — 5. Houille. — 6. Calcaire Carbonifère. — 7. Vieux Grès Rouge.

de Mendip, telle qu'elle a été dressée, sur sa véritable échelle, par le professeur Ramsay. Les groupes plus nouveaux, 1, 2, 3 et 4, reposent en stratification discordante sur les formations 5 et 6. Vers l'extrémité de la ligne de coupe, on aperçoit les couches no 3 (Nouveau Grès Rouge) qui reposent immédiatement sur le no 6, tandis que, plus au nord, comme à Dundry Hill, six groupes superposés comprennent toutes les couches, depuis l'Oolite Inférieure jusqu'à la Houille et au Calcaire Carbonifère. L'étendue limitée des groupes 1 et 2 est due à la dénudation, car ces formations se terminent brusquement, laissant au loin quelques lambeaux, comme pour attester qu'elles ont eu jadis une étendue bien plus considérable.

Dans plusieurs cas, cependant, l'absence totale entre deux groupes d'une ou de plusieurs formations de périodes intermédiaires, telles que 3 et 5, résulte, non plus de la destruction de masses préexistantes, mais de ce que des couches

ne se sont jamais déposées sur la roche inférieure, soit que le pays fût terre ferme pendant ces périodes, soit qu'il fît partie d'une mer ou d'un lac qui ne recevait point de sédiment.

Donc, pour établir une succession chronologique de groupes fossilifères, le géologue doit commencer par une coupe isolée, offrant plusieurs séries de couches reposant l'une sur l'autre. Puis il suit ces couches, en se laissant conduire par leur caractère minéralogique et leurs fossiles, aussi loin que possible du point de départ. Chaque fois qu'il rencontre de nouveaux groupes, il s'assure, par la superposition, de leur âge relativement à ceux qu'il a déjà examinés, et arrive ainsi à les classer dans un tableau d'ensemble.

C'est par ce procédé que les géologues allemands, français et anglais, ont déterminé la succession des couches sur une grande partie de l'Europe; et c'est par suite de cette détermination qu'ils ont généralement adopté les groupes suivants, dont la plupart ont leurs représentants dans les îles Britanniques.

Groupes des couches fossilifères observées dans l'Europe occidentale, classées par séries dites descendantes, c'est-à-dire en commençant par les plus modernes. (Voyez un tableau plus détaillé, p. 169.)

1. Post-Pliocène, comprenant les couches récentes, ou de la période de l'homme.

2. Nouveau Pliocène, ou Pleistocène	Tertiaire, Supercrétacé (1), ou Caïnozoïque (2).
3. Vieux Pliocène	
4. Miocène	
5. Éocène	
6. Craie	Secondaire, ou Mésozoïque.
7. Grès vert et Weald	
8. Oolite Supérieure, y compris le Purbeck	
9. Oolite Moyenne	
10. Oolite Inférieure	
11. Lias	
12. Trias	

(1) Au lieu du mot *Tertiaire*, sir H. de la Bèche a employé celui de *Supracrétacé;* ce mot implique l'idée de supériorité des couches à celles de la craie.

(2) Pour l'explication du mot *Caïnozoïque*, etc., voyez ci-dessus, page 155.

13. Permien........................	Primaire fossilifère, ou Palæozoïque.
14. Houiller........................	
15. Vieux Grès Rouge, ou Devonien........	
16. Silurien Supérieur..................	
17. Silurien Inférieur..................	
18. Cambrien et couches fossilifères les plus anciennes......................	

On est loin de prétendre que les trois principales divisions du tableau ci-dessus, appelées primaire, secondaire et tertiaire, soient d'importance égale, ni que les dix-huit groupes subordonnés comprennent des monuments qui aient rapport à des quantités de temps égales, ou à des pages équivalentes de l'histoire de la terre. Mais on peut affirmer qu'ils se rapportent chacun à des périodes particulières durant lesquelles ont vécu certaines espèces animales et végétales, restreintes pour la plupart à leurs époques respectives, et durant lesquelles, aussi, des sédiments de différentes sortes se sont déposés dans l'espace maintenant occupé par l'Europe.

Si, prenant pour base la paléontologie (1), nous voulions diviser la série fossilifère entière en quelques groupes moins nombreux que ceux du tableau ci-dessus, et caractérisés d'une manière plus stricte que les divisions appelées primaire, secondaire et tertiaire, nous pourrions peut-être adopter les six groupes ou périodes que nous donnons dans le tableau suivant.

Mais je ferai observer que, dans l'état actuel de la science, à une époque où nous n'avons pu encore comparer les caractères fournis par toutes les classes de fossiles, pas même de ceux qui sont le plus largement répandus, tels que coquilles, coraux et poissons, de semblables généralisations seraient prématurées, et ne pourraient être admises que comme des conjectures ou des ébauches en attendant l'établissement de grands groupes naturels.

(1) La Paléontologie est la science qui traite des débris organiques fossiles, animaux et végétaux. Étymologie : παλαιὸς, *palaios* (ancien), ὄντα, *onta* (êtres), et λόγος, *logos* (discours).

Couches fossilifères de l'Europe occidentale, divisées en six groupes.

1. Post-Pliocène et Tertiaire..........	Du Post-Pliocène à l'Éocène, inclusivement.
2. Crétacé.	De la Craie de Maëstricht au Weald, inclusivement.
3. Oolitique.	Du Purbeck au Lias, inclusivement.
4. Triasique.........	Comprenant le Keuper, le Muschelkalk et le Bunter-Sandstein des Allemands.
5. Permien, Carbonifère et Devonien......	Comprenant le Calcaire Magnésien (Zechstein), le Terrain Houiller, le Calcaire de montagne et le Vieux Grès Rouge.
6. Silurien et Cambrien.	Depuis le Silurien Supérieur jusqu'aux roches fossilifères les plus anciennes, inclusivement.

La liste suivante, où les couches fossilifères se trouvent divisées en trente-cinq sections, sera plus nécessaire au lecteur, lorsqu'il suivra, dans les dix-huit prochains chapitres, nos descriptions des formations sédimentaires.

TABLEAU DES COUCHES FOSSILIFÈRES,

MONTRANT L'ORDRE DE SUPERPOSITION OU DE SUCCESSION CHRONOLOGIQUE DES GROUPES PRINCIPAUX.

Périodes et Groupes.	Exemples en Angleterre.	Équivalents étrangers et Synonymes.
I. POST-TERTIAIRE. *A*. POST-PLIOCÈNE.		I. TERRAINS CONTEMPORAINS ET QUATERNAIRES.
1. RÉCENT.	Tourbe de la Grande-Bretagne et de l'Irlande, avec débris humains. (*Princip. de géol.*, chap. XLV.) Plaines alluviales de la Tamise, de la Mersey et du Rother, avec débris de vaisseaux. (*Princip.*, chap. XLVIII.)	Partie du Terrain Quaternaire des auteurs français. Partie moderne des deltas du Rhin, du Nil, du Gange, du Mississipi, etc. Partie moderne des récifs de coraux de la mer Rouge et de l'océan Pacifique. Couches marines, y compris le temple de Sérapis, à Pouzzoles. (*Princ.*, chap. XXIX.) Couches d'eau douce, y compris le temple de Cachemire. (*Ibid.*, 9e édit., p. 762.)
2. POST-PLIOCÈNE.	Plage ancienne, soulevée, de Brighton. *b*, fig. 331. Alluvium, gravier, terre à briques, etc., avec coquilles fossiles d'espèces vivantes, mais quelquefois localement éteintes, et avec ossements d'animaux terrestres, en partie d'espèces éteintes; pas de débris humains.	Partie du Terrain Quaternaire des auteurs français. Tuf volcanique d'Ischia, avec espèces vivantes de coquilles marines, et sans débris humains ou travaux d'art. Loess du Rhin, avec coquilles récentes d'eau douce et ossements de mammouth. Partie la plus récente de la formation de transport de la Suède. Bluffs du Mississipi.

Périodes et Groupes.	Exemples en Angleterre.	Équivalents étrangers et Synonymes.
II. TERTIAIRE.		II. TERRAINS TERTIAIRES.
B. PLIOCÈNE.		
3. **NOUVEAU PLIOCÈNE, ou Pleistocène.**	Drift glaciaire ou formation de transport de Norfolk, de la Clyde, en Écosse, de la Galles du Nord. Crag de Norwich. — Dépôts de cavernes de Kirkdale, etc., avec ossements de quadrupèdes éteints et vivants.	Terrain quaternaire. Diluvium. Terrains tertiaires supérieurs. Transport glaciaire de l'Europe septentrionale ; du nord des États-Unis ; erratique des Alpes. Calcaire de Girgenti. Cavernes à brèches osseuses d'Australie.
4. **VIEUX PLIOCÈNE.**	Crag rouge de Suffolk. Crag à coraux de Suffolk.	Couches subapennines. Collines de Rome, monte Mario, etc. Crag d'Anvers et de Normandie. Dépôts Aralo-Caspiens.
C. **MIOCÈNE.**		C. TERRAINS TERTIAIRES MOYENS, PARTIE SUPÉRIEURE, OU FALUNS.
5. **MIOCÈNE.**	Couches marines de cet âge, manquant dans les îles Britanniques. Lit à feuilles, de Mull dans les Hébrides ?. Lignite d'Antrim ?.	Falunien supérieur, d'Orbigny. Faluns de Touraine. Partie des couches de Bordeaux. Couches du Bolderberg, en Belgique. Partie du bassin de Vienne. Partie de la Mollasse suisse. Sables de James-River et de Richmond, Virginie, États-Unis.
D. ÉOCÈNE.		
6. **ÉOCÈNE SUPÉRIEUR (Miocène Inférieur de plusieurs auteurs).**	Couches de Hempstead, près Yarmouth, île de Wight.	Partie inférieure du Terrain Tertiaire Moyen. Calcaire Lacustre Supérieur et Grès de Fontainebleau. Partie des couches lacustres d'Auvergne. Couches de Klein Spawen ou du Limbourg, Belgique. — Système Rupélien et Tongrien de Dumont. Bassin de Mayence. Partie du Lignite d'Allemagne. Argile à tuiles de Hermsdorf, près Berlin.
7. **ÉOCÈNE MOYEN.**	1. Couches de Bembridge ou de Binstead, île de Wight. 2. Série d'Osborne ou de Sainte-Hélène. 3. Série de Headon. 4. Sand Hills de Headon et Argile de Barton. 5. Couches de Bagshot et de Bracklesham. 6. Manque ?.	1 Série Gypseuse de Montmartre, et Calcaire Lacustre Supérieur. 2 et 3. Calcaire Siliceux. 2 et 3. Grès de Beauchamp, ou Sables Moyens ; couches de Laecken, Belgique. 4 et 5. Calcaire Grossier Supérieur et Moyen. 5. Lits Bruxelliens ou de Bruxelles, de Dumont. 5. Calcaire Grossier Inférieur, ou Glauconie Grossière. 5. Couches de Claiborne, Alabama, États-Unis. 5 et 6. Formation Nummulitique de l'Europe, de l'Asie, etc. 6. Sables du Soissonnais, ou Lits Coquilliers.

Périodes et Groupes.	Exemples en Angleterre.	Équivalents étrangers et Synonymes.
8. ÉOCÈNE INFÉRIEUR	1. Argile de Londres et Lits de Bognor. 2. Argiles Plastique et Bigarrée, et Sables; lits de Woolwich. 3. Sables de Thanet.	1. Manque dans le bassin de Paris; se trouve à Cassel, dans les Flandres françaises. 2. Argile Plastique et Lignite. 3. Landénien Inférieur de Belgique, en partie ?.
III. SECONDAIRE.		III. TERRAINS SECONDAIRES.
E. CRÉTACÉ.		*E*. TERRAINS CRÉTACÉS.
§ CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.		
9. COUCHES DE MAËSTRICHT.	Manque en Angleterre.	9. Danien, d'Orbigny Calcaire pisolitique des environs de Paris. Couches de Maëstricht. Calcaire Corallien de Faxoe, en Danemarck.
10. CRAIE BLANCHE SUPÉRIEURE.	Craie Blanche avec Silex, des Downs Nord et Sud.	10. Sénonien, d'Orbigny. Craie blanche avec silex. Obere Kreide des Allemands. Quadersandstein Supérieur des mêmes. La Scaglia des Italiens.
11. CRAIE BLANCHE INFÉRIEURE.	Craie sans Silex et Marne crayeuse. Marne crayeuse.	Calcaire à Hippurites, Pyrénées. Turonien, d'Orb., ou Craie Tuffeau de Touraine. Craie argileuse de certains auteurs français. Plänerkalk supérieur de Saxe.
12. GRÈS VERT SUPÉRIEUR.	Sable meuble avec grains verts luisants. Pierre à feu de Merstham, Surrey. Pierre Marneuse avec Chert, île de Wight.	Grès vert supérieur. Glauconie crayeuse. Craie chloritée. Cénomanien, d'Orbigny. Quadersandstein Inférieur des Allemands.
13. GAULT.	Marne Bleu-Foncé, Kent. Marne ou Argile de Folkstone. Lits de Blackdown, Grès vert et Chert, Devonshire.	Grès vert supérieur, Glauconie crayeuse } en partie. Albien d'Orbigny. Pläner Inférieur de Saxe.
§§ CRÉTACÉ INFÉRIEUR, OU NÉOCOMIEN.		
14. GRÈS VERT INFÉRIEUR.	Sable avec matière verte, Weald de Kent et de Sussex. Calcaire (Rag de Kent). Sables et argile avec concrétions calcaires et Chert. Atherfield, île de Wight. ——— Argile de Speeton, Yorkshire.	Grès vert inférieur. Néocomien supérieur. Aptien, d'Orbigny. Hils-conglomerat des Allemands. ——— Hils-thon de Brunswick.
15. WEALDIEN (argile wealdienne et sables de Hastings).	Argile avec bandes accidentelles de calcaire. — Weald de Kent, de Surrey, de Sussex. Sable avec grès (grit) calcaire et argile, Hastings, Cuckfield, Sussex.	Formation Wealdienne. Néocomien inférieur.
F. OOLITE.		F. TERRAINS JURASSIQUES, en partie.
§ OOLITE SUPÉRIEURE.		
16. LITS DE PURBECK.	Purbeck Supérieur, Moyen, Inférieur, Dorsetshire et Wilts.	Serpulitenkalk de Dunker, et couches associées du Wœlderformation du Nord de l'Allemagne.

Périodes et Groupes.	Exemples en Angleterre.	Équivalents étrangers et Synonymes.
17. **LITS DE PORTLAND.**	Pierre de Portland et sable de Portland.	Groupe Portlandien, de Beudant.
18. **ARGILE DE KIMMERIDGE.**	Argile de Kimmeridge, Dorsetshire.	Kimmeridgien, d'Orb. Calcaire à Gryphées virgules, de Thirria. Argiles de Honfleur, E. de Beaumont et Dufrénoy.
§§ OOLITE MOYENNE.		
19. **CORAL-RAG.**	Grès (grit) calcaire. Coral-rag ou calcaire oolitique avec coraux, Oxfordshire.	Groupe corallien, de Beudant. Corallien, d'Orbigny. Calcaire à Nérinées, de Thurmann et Thirria.
20. **ARGILE D'OXFORD.**	1. Argile bleu foncé, Oxfordshire et comtés du Midland. 2. Calcaire concrétionné, avec coquilles, appelé roche de Kelloway.	1. Oxfordien supérieur, Thurmann. 2. Oxfordien inférieur, ou Callovien, d'Orbigny.
§§§ OOLITE INFÉRIEURE.		
21. **GRANDE OOLITE, ou OOLITE DE BATH.**	1. Cornbrash et Forest Marble. 2. Grande oolite et schistes de Stonesfield, Bath, Stonesfield.	Bathonien, d'Omalius d'Halloy. Grande Oolite. Calcaire de Caen.
22. **OOLITE INFÉRIEURE.**	Terre à foulon, près Bath. Pierre de taille calcaire et sables jaunes des collines de Cotteswold, Gloucestershire. Colline de Dundry, près Bristol.	Oolite inférieure. Oolite ferrugineuse de Normandie. Oolite de Bayeux. Bajocien, d'Orbigny.
G. LIAS.		G. TERRAINS JURASSIQUES, en partie.
23. **LIAS.**	1. Lias supérieur. 2. Marne. 3. Lias inférieur.	1. Étage supérieur du Lias, Thirria. Toarcien, d'Orbigny. 2. Lias moyen. Liasien, d'Orbigny. 3. Calcaire à Gryphée arquée. Sinémurien, d'Orbigny. Bassin houiller, près Richmond, Virginie.
H. TRIAS. (*Nouveau Grès Rouge Supérieur.*)		H. NOUVEAU GRÈS ROUGE.
24. **TRIAS SUPÉRIEUR.**	Grès salifères et gypseux ; schistes du Cheshire. Lit à ossements d'Axmouth, Devon.	Keuper des Allemands. Marnes irisées des Français. Saliférien, d'Orbigny.
25. **TRIAS MOYEN, ou MUSCHELKALK.**	Manque en Angleterre.	Muschelkalk des Allemands. Calcaire conchylien, Brongniart. Calcaire à Cératites, Cordier. Conchylien, d'Orb. (en partie).
26. **TRIAS INFÉRIEUR.**	Grès rouge et blanc du Lancashire et du Cheshire.	Buntersandstein des Allemands. Grès bigarré des Français. Conchylien, d'Orb. (en partie).

Périodes et Groupes.	Exemples en Angleterre.	Équivalents étrangers et Synonymes.
IV. PRIMAIRE.		IV. TERRAIN DE TRANSITION. TERRAINS PALÉOZOÏQUES
I. PERMIEN, ou CALCAIRE MAGNÉSIEN. (*Nouveau Grès Rouge Inférieur.*)		I. CALCAIRE MAGNÉSIEN.
27. **PERMIEN, ou CALCAIRE MAGNÉSIEN.**	1. Calcaire concrétionné de Durham et du Yorkshire. 2. Calcaire brèche. 3. Calcaire fossilifère. 4. Calcaire compacte. 5. Ardoise marneuse de Durham. 6. Grès inférieurs de différentes couleurs, — N. de l'Angleterre. ——— Conglomérat dolomitique, — Bristol.	1. Stinkstein de Thuringe. 2. Rauchwacke. 3. Dolomite ou Zechstein supérieur. 4. Zechstein. 5. Mergel, ou Kupfer-Schiefer. 6. Rothliegendes de Thuringe. ——— Permien de Russie. Grès des Vosges de France (en partie).
K. CARBONIFÈRE.		K. TERRAIN HOUILLER.
28. **CARBONIFÈRE SUPÉRIEUR.**	1. Lits de houille, grès et schistes avec filets de houille,—Ouest de l'Angleterre et Irlande, chap. XXIV et XXV. 2. Millstone Grit (Grès meulier).	Bassins houillers des États-Unis.
29. **CARBONIFÈRE INFÉRIEUR.**	1. Calcaire de montagne, ou Carbonifère. 2. Schistes calcaires inférieurs, — Mendips. Ardoise carbonifère, — Irlande. ——— Schiste charbonneux avec *Posidonomya Becheri.*	1. Calcaire carbonifère des Français. 1. Bergkalk ou Kohlenkalk des Allemands. 1. Calcaire à Pentremites, États-Unis. ——— Kiesel - schiefer et Jüngere Grauwacke des Allemands. Couches gypseuses et calcaire encrinitique de la Nouvelle-Écosse.
L. DEVONIEN, ou VIEUX GRÈS ROUGE.		L. TERRAIN DEVONIEN. VIEUX GRÈS ROUGE.
30. **DEVONIEN SUPÉRIEUR.**	Grès jaune de Dura-Den, Fife. Grès blanc d'Elgin, avec Telerpeton. Grès rouge et conglomérat. Devonien supérieur et moyen du Devon septentrional, comprenant le calcaire de Plymouth.	Devonien de Russie, partie supérieure. Groupe de Catskill, États-Unis. Calcaire de l'Eifel. Calcaire de Villmar, etc., Nassau.
31. **DEVONIEN INFÉRIEUR.**	Devonien inférieur du Devon septentrional, du Foreland Septentrional. Pierre à paver, d'Arbroath. Schistes bitumineux de Caithness.	1. Grès à Spirifères et Ardoise de Sandberger. Grauwacke Vieille du Rhin, de Rœmer. Devonien de Russie, partie Inférieure.

Périodes et Groupes.	Exemples en Angleterre.	Équivalents étrangers et Synonymes.
M. SILURIEN.		*M*. TERRAIN SILURIEN.
32. **SILURIEN SUPÉRIEUR.**	1. Ludlow Supérieur. 2. Calcaire d'Aymestry. 3. Ludlow Inférieur. 4. Calcaire de Wenlock. 5. Schiste de *ibid*.	Division de New-York, depuis le Groupe à Pentamères, Supérieur, jusqu'au Groupe de Niagara inclusivement. Étages E à H (Barrande), Bohême.
32. *a*. **Silurien moyen.** (*Couches de passage entre les Silurien Supérieur et Inférieur.*)	Grès de Caradoc ou de May.	Groupes de New-York, depuis le Clinton jusqu'au Grey (grès de ce nom) inclusivement.
33. **SILURIEN INFÉRIEUR.**	Ardoises et schistes de Llandeilo. Calcaire de Bala et ardoise noire. Schiste à Graptolites, S. de l'Écosse. Calcaire, Chair de Kildare, Irlande.	Groupes de New-York, depuis les lits de Hudson-River jusqu'au grès calcarifère, inclusivement. Étage D (Barrande), Bohême. Ardoises d'Angers, France.
N. CAMBRIEN.		
34. **CAMBRIEN SUPÉRIEUR.**	Ardoises à Lingules, Galles du Nord. *Stiper-stones*, Shropshire.	Zone primordiale (Barrande), en Bohême. Schistes Alunifères de Suède. Grès de Potsdam, des États-Unis et du Canada. Wisconsin et Minnesota, roches fossilifères les plus inférieures.
35. **CAMBRIEN INFÉRIEUR.**	Roches fossilifères les plus inférieures de Wicklow, Irlande.	

TABLEAU ABRÉGÉ DES COUCHES FOSSILIFÈRES.

1. RÉCENT.	**POST-TERTIAIRE.**		
2. POST-PLIOCÈNE.			
3. NOUVEAU PLIOCÈNE.	**PLIOCÈNE.**	TERTIAIRE ou CAINOZOIQUE.	NÉOZOIQUE.
4. VIEUX PLIOCÈNE.			
5. MIOCÈNE.	**MIOCÈNE.**		
6. ÉOCÈNE SUPÉRIEUR.	**ÉOCÈNE.**		
7. ÉOCÈNE MOYEN.			
8. ÉOCÈNE INFÉRIEUR.			
9. COUCHES DE MAESTRICHT.	**CRÉTACÉ.**	SECONDAIRE ou MÉSOZOIQUE.	
10. CRAIE BLANCHE SUPÉRIEURE.			
11. CRAIE BLANCHE INFÉRIEURE.			
12. GRÈS VERT SUPÉRIEUR.			
13. GAULT.			
14. GRÈS VERT INFÉRIEUR.			
15. WEALDIEN.			
16. LITS DE PURBECK.	**JURASSIQUE.**		
17. PIERRE DE PORTLAND.			
18. ARGILE DE KIMMERIDGE.			
19. CORAL RAG.			
20. ARGILE D'OXFORD.			
21. GRANDE OOLITE, ou OOLITE DE BATH.			
22. OOLITE INFÉRIEURE.			
23. LIAS.			
24. TRIAS SUPÉRIEUR.	**TRIASIQUE.**		
25. TRIAS MOYEN ou MUSCHELKALK			
26. TRIAS INFÉRIEUR.			
27. PERMIEN, ou CALCAIRE MAGNÉSIEN.	**PERMIEN.**	PRIMAIRE ou PALÆOZOIQUE.	PALÆOZOIQUE.
28. HOUILLE.	**CARBONIFÈRE.**		
29. CALCAIRE CARBONIFÈRE.			
30. SUPÉRIEUR } DEVONIEN.	**DEVONIEN.**		
31. INFÉRIEUR } DEVONIEN.			
32. SUPÉRIEUR } SILURIEN.	**SILURIEN.**		
33. INFÉRIEUR } SILURIEN.			
34. SUPÉRIEUR } CAMBRIEN.	**CAMBRIEN.**		
35. INFÉRIEUR } CAMBRIEN.			

CHAPITRE X.

CLASSIFICATION DES FORMATIONS TERTIAIRES. — GROUPE POST-PLIOCÈNE.

Principes généraux de la classification des couches tertiaires. — Répartition des formations en Europe. — Bassins de Paris et de Londres. — Groupes les plus modernes. — Difficultés particulières qu'offre la détermination chronologique des formations tertiaires. — Accroissement en nombre des espèces vivantes de coquilles, dans les couches d'origine de plus en plus moderne. — Expressions *Éocène*, *Miocène*, *Pliocène*. — Couches Post-Pliocènes. — Période récente ou de l'homme. — Formations Post-Pliocènes plus anciennes, de Naples, d'Uddevalla et de Norwége. — Ancien delta exhaussé du Mississipi. — Loess du Rhin.

Avant de décrire les plus modernes d'entre les groupes de couches qui ont été énumérés à la fin du dernier chapitre, il est nécessaire d'exposer quelques généralités sur le mode de classification des formations tertiaires.

Le nom de *tertiaires* a été donné à ces formations parce qu'elles sont toutes postérieures en date aux roches appelées *secondaires*, dont la craie constitue le groupe le plus moderne. Les couches tertiaires ont été d'abord confondues, comme nous l'avons établi, avec les alluviums superficiels de l'Europe, et ce n'est que longtemps après que l'on a reconnu leur étendue réelle et leur épaisseur, ainsi que les âges auxquels elles appartiennent. On les avait observées par lambeaux, et, que leur origine fût d'eau douce ou marine, elles occupaient d'ordinaire une surface restreinte comparativement aux formations secondaires ; leur position indiquait souvent qu'elles avaient été déposées dans des baies, des lacs, des estuaires ou des mers intérieures, après la transformation en terre ferme d'une vaste portion de l'espace maintenant occupé par l'Europe.

Les premiers dépôts de cette classe dont on détermina les caractères avec exactitude, ceux des environs de Paris, furent

décrits, en 1810, par MM. Cuvier et Brongniart. Ces savants établirent qu'ils consistaient en groupes successifs de couches superposées, les uns d'origine marine, les autres d'eau douce. Les testacés et coraux fossiles qu'ils contenaient étaient presque tous d'espèces nouvelles, et présentaient généralement une grande affinité avec ceux qui habitent aujourd'hui les mers des régions plus chaudes. Cuvier eut à examiner des os et squelettes d'animaux terrestres appartenant à quarante espèces distinctes, dont quelques-unes de taille colossale ; il déclara que ces animaux différaient spécifiquement, et, pour la plupart génériquement, de tous les produits connus de la création actuelle.

Bientôt, on observa dans le voisinage de Londres et dans le Hampshire, des couches que, malgré leur différence de composition minéralogique, M. T. Webster eut raison de considérer comme contemporaines des formations parisiennes, car les coquilles fossiles qu'elles contenaient, étaient, pour le plus grand nombre, spécifiquement identiques. Le même motif conduisit à penser que les roches du bassin de la Gironde dans le midi de la France, et celles de certains points du nord de l'Italie, pourraient bien dater de la même époque que les précédentes.

Plus tard furent découverts, dans différentes parties de l'Europe, des dépôts reposant immédiatement sur des roches aussi anciennes ou plus anciennes que la craie, et montrant, par leurs débris organiques, certains caractères généraux de ressemblance avec ceux qu'on avait antérieurement observés dans les environs de Paris et de Londres. On essaya d'abord de rapporter le tout à une seule période ; mais cette identification ne tarda pas à paraître impraticable, et l'on prétendit que, semblablement à ce qui avait eu lieu pour la série parisienne, plusieurs formations subordonnées, d'une épaisseur considérable, avaient dû s'accumuler l'une après l'autre durant un long intervalle de temps, de telle sorte que les divers lambeaux de couches tertiaires répandus sur l'Europe pouvaient aujourd'hui correspondre,

quant à leur âge, les uns aux subdivisions les plus anciennes, et les autres aux subdivisions les plus modernes du bassin de Paris.

Cette erreur, bien qu'elle fût presque inévitable de la part de ceux qui avaient fait les premières généralisations dans cette branche de la géologie, retarda de plusieurs années les progrès de la classification. Une attention plus scrupuleuse, prêtée aux différences des espèces fossiles, aidée d'ailleurs par un examen plus approfondi de la position relative des couches qui les contenaient, conduisit enfin à reconnaître qu'il existait à la fois des formations marines et des formations d'eau douce de différents âges, toutes plus modernes que les couches du voisinage de Paris et de Londres.

L'un des premiers pas vers cette réforme chronologique date de 1811 : un naturaliste anglais, M. Parkinson, établit que certaines couches coquillières, appelées en terme de province *Crag* dans le Suffolk, reposaient sans équivoque sur un dépôt continu avec l'argile blanche de Londres. Il remarqua, de plus, que les testacés fossiles de ces couches plus nouvelles étaient distincts de ceux de l'argile bleue ; que certains appartenaient à des espèces inconnues, tandis que d'autres étaient identiques avec des espèces habitant aujourd'hui les mers britanniques.

Une découverte importante fut faite bientôt après par Brocchi, en Italie. Ce savant avait étudié les dépôts argileux et sableux remplis de coquilles, qui, de chaque côté des Apennins, des plaines du Pô à la Calabre, forment une longue rangée de collines. Ces collines, principalement composées de couches marines plus modernes que celles de Paris et de Londres, reçurent de lui le nom de subapennines.

Un autre groupe tertiaire des environs de Bordeaux et de Dax, dans le midi de la France, fut examiné, en 1825, par M. de Basterot, qui découvrit et figura plusieurs centaines d'espèces de coquilles différant, pour la plupart, de celles des séries parisiennes et des collines subapennines. On pensa que cette faune appartenait à une période intermédiaire entre les

couches parisiennes et les couches subapennines, et des exemples de superposition bien évidente ne tardèrent pas à confirmer cette opinion ; on découvrit, en effet, sur certains points de la vallée de la Loire, d'autres couches contemporaines de celles de Bordeaux, superposées à la formation parisienne, et sur un autre point, en Piémont, ces mêmes couches, audessous des couches subapennines. Le premier de ces exemples fut signalé, en 1829, par M. Desnoyers, qui s'assura que le sable et la marne d'origine marine, appelés faluns près de Tours dans le bassin de la Loire, et qui sont remplis de coraux et de coquilles marines, reposaient sur une formation lacustre constituant la sous-division supérieure du groupe parisien et s'étendant sans discontinuité à travers un grand plateau entre le bassin de la Seine et celui de la Loire. L'autre exemple fut observé par Bonelli et d'autres géologues, aux environs de Turin, dans des couches contenant plusieurs fossiles semblables à ceux de Bordeaux, et sur lesquelles reposaient d'autres lits appartenant au groupe subapennin de Brocchi.

Sans prétendre donner ici une esquisse complète de toutes les phases de cette découverte, je me bornerai aux faits précédents pour montrer la voie suivie d'ordinaire par les géologues qui essaient de créer de nouvelles divisions chronologiques. Leur méthode a quelque analogie avec celle qu'applique le naturaliste, lorsque, pour établir des genres, il choisit une espèce type, et classe comme congénères toutes les espèces qui concordent dans certaines limites avec ce type. Supposons les deux genres A et C fondés d'après ces principes ; quand le naturaliste rencontrera plus tard telle espèce nouvelle, très différente de A et de C, mais présentant sous certains rapports un caractère intermédiaire, il sera dans la nécessité d'établir le nouveau genre B, qui renfermera toutes les espèces ultérieurement reconnues et plus rapprochées de B que des types A ou C. Il en est de même en géologie, quand on a découvert quelque formation nouvelle dont on s'occupe d'étudier la faune et la flore. Dès ce

moment, cette formation représente une certaine période de l'histoire de la terre, et devient pour d'autres dépôts un terme de comparaison. Si l'on rencontre quelque autre formation qui contienne les mêmes, ou à peu près les mêmes débris organiques, et qui occupe la même position relative, on la considère comme remontant à une époque contemporaine, et dès lors ces monuments ne se rapportent plus pour nous qu'à une seule et même période, durant laquelle se sont passés certains événements, tels que la formation de roches particulières par l'action des eaux et des volcans, ou bien le développement et la fossilisation de certaines tribus d'animaux et de plantes. Après qu'un nombre quelconque de ces périodes ont pris place dans la série chronologique, on en trouve d'autres qu'il devient nécessaire d'intercaler entre les premières, et la difficulté d'assigner des lignes très nettes de séparation croît généralement en proportion du nombre des lacunes que l'on remplit successivement dans l'histoire du globe.

Les zoologistes et les botanistes savent qu'il est comparativement facile d'établir des genres dans les catégories qui ne comptent qu'un petit nombre d'espèces et ne manifestent encore aucune tendance à passer d'un groupe à un autre. Ils n'ignorent pas non plus que la difficulté de la classification augmente, et que l'artifice des divisions se dessine de plus en plus à mesure que croît le nombre des objets examinés; mais, pour séparer les familles et les genres, ils n'ont pas d'autres ressources que d'utiliser les interruptions ou les hiatus qui n'auraient point encore été remplis dans la chaîne des êtres animés. Il en est de même en géologie : nous sommes forcés d'admettre des divisions de temps aussi arbitraires, aussi purement conventionnelles que celles qui partagent en siècles l'histoire des événements humains; et, dans l'état actuel de nos connaissances, nous ne saurions mieux faire que de nous servir des interruptions qui existent encore dans la série régulière des monuments géologiques, comme de démarcations tracées entre nos principaux groupes ou

périodes, bien que des groupes ainsi établis soient de valeur tout à fait inégale.

Nous avons déjà fait ressortir la position isolée de dépôts tertiaires distincts sur différentes parties de l'Europe. Outre la difficulté qui naît du manque de continuité lorsqu'on cherche à établir les rapports chronologiques de ces dépôts, il en résulte une autre de la variété fréquente des caractères minéralogiques que présentent des couches de date contemporaine, telles, par exemple, que celles de Londres et de Paris. L'identité ou la non-identité des espèces est aussi un critérium souvent trompeur. En effet, la mer Méditerranée et la mer Rouge, bien que situées à 112 kilomètres seulement l'une de l'autre, de chaque côté de l'isthme de Suez, ont chacune leur faune particulière, et l'on trouve des différences marquées entre les quatre groupes de testacés qui habitent aujourd'hui la Baltique, la Manche, la mer Noire et la Méditerranée, bien que toutes ces mers aient plusieurs espèces communes. En outre, quelque grande que soit la diversité entre les fossiles des différentes formations tertiaires qui ont été déposées séparément en des mers, estuaires, baies et lacs distincts, elle n'implique pas toujours un égal défaut de concordance entre les époques où ces formations ont été produites, car elle a pu résulter du climat et de conditions géographiques entièrement indépendantes du temps. D'un autre côté, il est parfaitement constaté en géologie, que des groupes de couches tertiaires, bien qu'immédiatement superposés l'un à l'autre, contiennent cependant des espèces distinctes de fossiles; ce fait est une conséquence des fluctuations qui ont eu lieu dans la création animée, et par lesquelles, durant le cours des âges, un certain ensemble d'êtres organiques a été substitué à un autre ensemble tout à fait différent. Il a été également démontré que, plus l'âge d'un dépôt tertiaire est moderne, plus la faune de ce dépôt présente d'analogie avec celle qui habite les mers voisines. Cette loi du rapprochement relatif des testacés fossiles avec les espèces qui vivent actuellement nous fournit souvent un moyen de classer chronolo-

giquement des dépôts séparés, lorsque nous ne rencontrons aucun des trois caractères chronologiques ordinaires : la superposition, le caractère minéralogique, les espèces fossiles.

On a observé sur le bord africain de la mer Rouge, à plus de 12 mètres au-dessus de son niveau, une formation calcaire blanche, contenant plusieurs centaines d'espèces de coquilles différentes de celles que l'on trouve dans l'argile et le tuf volcanique des environs de Naples et de l'île contiguë d'Ischia. A Uddevala, en Suède, on a reconnu un autre dépôt dont les coquilles ne se rapportent pas non plus à celles des environs de Naples. Mais bien que, dans ces trois cas, il y ait à peine une seule espèce commune aux trois dépôts différents, nous n'hésitons pas à les rapporter tous à une seule période (*Post-Pliocène*), à cause des très grands rapports de leurs fossiles avec les testacés qui vivent encore dans les mers contiguës.

Prenons un autre exemple, où la faune fossile s'éloigne encore plus de celle de l'époque actuelle : comparons d'abord les couches de limon et d'argile qui bordent la Clyde, en Écosse, couches appelées glaciaires par quelques géologues, puis d'autres couches d'origine fluvio-marine situées près de Norwich, et enfin un troisième groupe qui s'élève souvent à des hauteurs considérables en Sicile. Dans chacun des cas, nous trouverons plus des trois quarts des coquilles concordant avec les espèces qui vivent encore, tandis que le reste se composera d'espèces éteintes, et nous pourrons en conclure que toutes ces couches, quelque divers que soient leurs fossiles, appartiennent à une seule et même période immédiatement antérieure au Post-Pliocène, parce que, pour un changement égal ou presque égal de la faune testacée marine, il s'est écoulé dans chacune de ces localités un même laps de temps. En cet état, et malgré les différences très tranchées du caractère minéralogique ou des fossiles, nous déduirons la contemporanéité d'origine de l'égal degré de discordance qui sépare les coquilles de celles qui vivent

actuellement dans les mers voisines. L'avantage de ce procédé sera de nous fournir dans tous les pays, quelque éloignés qu'ils soient, un commun point de départ.

Mais, plus nous nous séparons de l'époque actuelle, et plus nous voyons diminuer dans les dépôts tertiaires le nombre relatif des coquilles récentes, comparé à celui des espèces perdues; moins aussi nous devons avoir confiance dans la valeur absolue d'un tel caractère, surtout lorsque nous comparons entre elles les couches de régions très distantes : car nous ne saurions admettre que la somme des changements dans le monde animé primitif, et l'apparition et la disparition continuelles des espèces, aient été partout exactement égales pour des espaces de temps égaux. La forme de la terre et de la mer, ainsi que le climat, ont pu se modifier bien plus dans un pays que dans un autre; et, par conséquent, il a pu se produire une destruction et un renouvellement plus rapides des espèces, sur tel point du globe que sur tel autre. Des considérations de ce genre devront évidemment nous prémunir contre une confiance trop aveugle dans la valeur du caractère dont il vient d'être question, bien qu'il ne puisse manquer de jeter un grand jour sur les rapports chronologiques des groupes tertiaires, soit entre eux, soit avec la période Post-Pliocène.

Cette conviction s'affermit dans notre esprit, non-seulement lorsque nous étudions les monuments géologiques de tous les âges, mais encore lorsque nous réfléchissons sur la tendance que montre aujourd'hui la nature vers une certaine uniformité, et, en même temps, une certaine simultanéité de fluctuations dans la faune et la flore du globe entier. Les bases de cette doctrine ne sauraient être discutées ici, et je les ai développées dans le troisième livre des *Principes de géologie*, où j'ai cherché les causes de l'extinction successive des espèces. On peut y voir que chaque changement local dans le climat et dans la géographie physique est accompagné d'un accroissement immédiat de certaines espèces et de la diminution d'autres espèces. Une révolution de ce genre n'est que rarement ou même jamais

confinée à un espace limité ou à une province géographique particulière d'animaux et de plantes. Dans chacune des provinces contiguës, des changements analogues de station et d'habitat des espèces ont lieu simultanément, et il en résulte que, longtemps avant que la géographie de chaque district particulier puisse être essentiellement altérée, la flore et la faune du globe se trouvent matériellement modifiées par des perturbations survenues dans les rapports mutuels des différents membres de la création organique. Admettre que, sur une large surface, habitée exclusivement par un seul ensemble d'espèces, une révolution importante dans la géographie physique puisse avoir lieu sans que d'autres surfaces soient atteintes quant à la position de la terre et de la mer, à la hauteur des montagnes, etc., ce serait faire une hypothèse très improbable, et tout à fait opposée à ce que nous connaissons des lois qui régissent aujourd'hui les actions ignées et aqueuses. D'un autre côté, en acceptant même la possibilité du fait, l'équilibre de la chaleur et du froid entre les différentes parties de l'atmosphère et de l'Océan s'établit avec si peu d'obstacles et tant de rapidité, que la température de certaines zones ne saurait matériellement s'élever ou s'abaisser sans que d'autres en soient immédiatement affectées; or l'élévation ou l'abaissement d'une chaîne importante de montagnes, ou la submersion d'une large étendue de terres, modifierait le climat, même aux Antipodes.

On remarquera dans les citations des débris organiques qui vont suivre, que les testacés ou mollusques à coquilles ont été choisis comme la classe la plus utile et la plus appropriée au but d'une classification générale. Ils sont plus universellement répandus que tous les autres corps organiques à travers les couches des différents âges, tandis que les familles de fossiles qui ne se présentent que rarement ou accidentellement ne peuvent être d'aucune utilité pour établir un arrangement chronologique. Si l'on n'a que des plantes dans un groupe de couches, et des ossements de mammifères dans un autre, quelle conclusion peut-on en tirer sur l'affinité ou la

discordance des êtres organiques des deux époques comparées ? On peut en dire autant si l'on a des plantes et des animaux vertébrés dans une série, et seulement des coquilles dans une autre. Bien que les coraux soient plus abondants à l'état fossile que les plantes, les reptiles ou les poissons, ils sont rares encore, comparés aux coquilles, surtout dans les formations tertiaires d'Europe. L'utilité des testacés résulte encore de cette circonstance que certaines de leurs formes sont propres à la mer, tandis que d'autres sont propres à la terre et d'autres à l'eau douce. Les rivières ne manquent jamais d'apporter dans leurs deltas quelques coquilles terrestres, en même temps que des espèces fluviatiles et lacustres. Le géologue arrive ainsi à connaître quelles sont les espèces terrestres, d'eau douce, ou marines, qui ont coexisté à telles époques particulières du passé ; et, lorsqu'il a identifié des couches formées dans la mer avec d'autres couches formées en même temps dans les lacs de l'intérieur des terres, il peut aller plus loin et prouver que certains quadrupèdes ou certaines plantes aquatiques, trouvés à l'état fossile dans des formations lacustres, ont habité le globe à la même époque où des reptiles, des poissons et des zoophytes vivaient eux-mêmes dans l'Océan.

Parmi d'autres caractères appartenant aux mollusques, et qui peuvent être très utiles pour établir la chronologie géologique, nous mentionnerons le large développement géographique de plusieurs espèces, et, comme conséquence du caractère précédent, la longue durée des espèces, durée qui est le résultat probable de leur développement, et qui paraît avoir dépassé celle du plus grand nombre de mammifères et des poissons. Si les espèces avaient habité chacune un rayon très limité, le géologue n'aurait pu invoquer leur présence dans les couches pour identifier des dépôts éloignés ; ou bien, si chacune n'avait duré qu'une courte période, elles ne jetteraient qu'une faible lumière sur la connexion de roches distantes l'une de l'autre, dans l'ordre chronologique, ou, comme on dit souvent, dans l'ordre vertical.

Différents auteurs ont divisé les couches tertiaires d'Europe en trois groupes : le groupe inférieur ou formations plus anciennes de Paris et de Londres; le groupe moyen ou formations de Bordeaux et de Touraine; et le groupe supérieur, comprenant toutes les formations plus nouvelles que celles du groupe moyen.

En 1828, pendant que je préparais mon ouvrage sur les *Principes de géologie*, je conçus l'idée de classer toute la série des couches tertiaires en quatre groupes, et je m'efforçai de trouver, pour chacun d'eux, des caractères qui pussent exprimer leurs différents degrés d'affinité avec la faune actuelle. Dans ce but, j'obtins, sur l'identité spécifique d'un grand nombre de coquilles tertiaires et récentes, des notes de plusieurs naturalistes italiens, parmi lesquels je citerai les professeurs Bonelli, Guidotti et Costa. Ayant fait connaissance, en 1829, avec M. Deshayes, de Paris, savant déjà très connu par ses ouvrages conchyliologiques, j'appris de lui qu'il était arrivé, par ses recherches personnelles et par l'étude d'une nombreuse collection de coquilles fossiles et récentes, à des vues tout à fait semblables aux miennes sur l'arrangement des formations tertiaires. A ma demande, il dressa sous forme de tableau des listes de toutes les coquilles qu'il savait se présenter à la fois dans quelque formation tertiaire et à l'état vivant, afin que l'on pût établir le nombre proportionnel des espèces fossiles identiques avec les espèces récentes qui caractérisaient les groupes successifs; j'ai publié, en 1833, ce tableau que nous avions rectifié en commun (1). Le nombre des coquilles tertiaires examinées par M. Deshayes était d'environ 3 000; et les espèces récentes qui leur avaient été comparées étaient d'environ 5 000. Le résultat fut que, dans les couches tertiaires inférieures, ou dans celles de Londres et de Paris, il y avait environ 3 ½ pour 100 d'espèces identiques avec les espèces récentes; dans les couches tertiaires moyennes de la Loire et de la Gironde, environ 17 pour 100,

(1) Voyez *Principes de géologie*, vol. III, 1re édition.

et dans les lits tertiaires supérieurs ou subapennins, de 35 à 50 pour 100. Quant aux formations encore plus modernes, dont j'ai étudié particulièrement quelques-unes en Sicile, et qui atteignent une vaste épaisseur et une grande élévation au-dessus du niveau de la mer, le nombre des espèces identiques avec celles qui vivent encore aujourd'hui fut évalué de 90 à 95 pour 100. Dans un but de clarté et de précision, je proposai de donner des noms techniques très courts à ces quatre groupes ou aux périodes auxquelles ils appartenaient respectivement. J'appelai le premier ou le plus ancien, Éocène ; le second, Miocène ; le troisième, Vieux Pliocène, et le dernier ou quatrième, Nouveau Pliocène. Le premier de ces mots est dérivé de ἕως, *eos* (aurore), et καινὸς (récent) : en effet, les coquilles fossiles de cette période ne comprennent qu'une très petite proportion d'espèces vivantes, et l'on peut la considérer comme indiquant l'aurore de l'état actuel de la faune testacée, aucune espèce récente n'ayant été jusqu'à présent découverte dans les roches plus anciennes ou secondaires.

Le mot Miocène, de μεῖον, *meion* (moins), et καινὸς, *cainos* (récent), exprime une proportion moindre d'espèces testacées récentes. Le mot Pliocène, de πλεῖον, *pleion* (plus), et καινὸς, *cainos* (récent), indique un plus grand nombre de ces espèces. On peut résumer ces indications en rappelant que le *miocène* contient une proportion *plus petite*, et le *pliocène*, une proportion *plus grande* d'espèces récentes ; et qu'un nombre plus grand d'espèces récentes implique toujours une origine plus moderne des couches.

On a objecté à cette nomenclature que certaines espèces d'infusoires trouvées dans la craie vivent encore actuellement, et que, d'un autre côté, les dépôts du Miocène et du Vieux Pliocène contiennent souvent des débris de mammifères, de reptiles et de poissons, exclusivement d'espèces éteintes. Mais le lecteur doit se souvenir que les mots Eocène, Miocène et Pliocène ont été originairement inventés pour désigner uniquement une date chronologique, et c'est dans

ce sens que je m'en suis toujours servi et que je m'en sers encore.

Voici, d'après les recherches faites par M. Deshayes en 1830, la distribution des espèces fossiles :

Dans les formations du nouveau et de l'ancien Pliocène...	777
Dans le Miocène..........................	1021
Dans l'Éocène..........................	1238
	3036

Depuis l'année 1830, le nombre des espèces vivantes nouvelles, obtenues de différentes parties du globe, a augmenté considérablement ; il en est résulté des éléments nouveaux pour la comparaison, et les paléontologistes ont pu corriger plusieurs identifications erronées de formes fossiles et récentes. De nouvelles espèces ont été recueillies en abondance dans les formations tertiaires des différents âges, pendant que des groupes de couches, récemment découverts, venaient remplir des lacunes dans la série précédemment connue. De là des modifications et des réformes dans la classification d'abord proposée. Les périodes Eocène, Miocène et Pliocène ont été établies pour comprendre certains groupes de couches dont les fossiles ne sont pas toujours exactement conformes, quant aux proportions des espèces récentes et des espèces éteintes, aux définitions que j'avais d'abord données ou que comporte l'étymologie de ces mots. Je traiterai plus à fond de ces innovations et d'autres changements dans les quatorzième et quinzième chapitre.

Formations Post-Pliocènes. — J'ai adopté le mot *Post-Pliocène* pour ces sortes de couches, quelquefois appelées post-tertiaires ou modernes, et qui sont caractérisées par ce fait que toutes leurs coquilles fossiles sont identiques avec les espèces qui vivent encore aujourd'hui, tandis que le *Nouveau Pliocène*, ou le plus moderne des dépôts tertiaires, contient toujours quelque faible proportion d'espèces éteintes.

Ces formations modernes ainsi définies comprennent non-seulement les couches que l'on peut démontrer avoir été for-

mées depuis que la terre est habitée par l'homme, mais aussi des dépôts d'une étendue et d'une épaisseur bien autrement considérables, dans lesquels on ne peut découvrir aucune trace de l'homme ou de ses travaux. Dans quelques-uns de ces dépôts, d'une date très antérieure aux temps de l'histoire et de la tradition, on a rencontré des ossements de quadrupèdes disparus aujourd'hui et dont les espèces n'ont probablement jamais coexisté avec la race humaine : tels sont le mammouth, le mastodonte, le mégathérium et autres, et cependant les coquilles y sont identiques avec celles qui vivent actuellement.

Cette partie du groupe Post-Pliocène qui appartient à l'époque de l'homme, et que l'on appelle quelquefois *Récente*, forme un élément de peu d'importance dans la structure géologique de la croûte terrestre. J'ai démontré cependant, dans les *Principes*, que les dépôts qui se sont accumulés au fond des lacs et des mers pendant les derniers quatre mille ou cinq mille ans ne sont pas insignifiants quant à leur volume et à leur étendue. S'ils sont, pour la plupart, cachés à notre vue, il nous est quelquefois possible de les apercevoir sur certains points, lorsque des terres nouvellement formées dans des deltas de rivières se trouvent coupées par des inondations, lorsque des récifs de coraux présentent un développement rapide, ou bien lorsque le lit d'une mer ou d'un lac est élevé et mis à sec par des mouvements souterrains. On reconnaît leur âge par la présence, soit d'ossements humains à l'état fossile, c'est-à-dire enfouis naturellement dans leur masse, soit d'objets fabriqués de main d'homme.

Ainsi, à Pouzzoles près de Naples, on voit des couches marines contenant des fragments de sculptures, de poteries et des débris d'édifices, mélangés pêle-mêle avec d'innombrables coquilles qui ont conservé en partie leurs couleurs, et qui appartiennent aux espèces actuelles de la baie de Baïa. La couche supérieure est à environ 6 mètres au-dessus du niveau de la mer. On prouverait facilement que l'émersion du

tout a eu lieu depuis le commencement du XVIe siècle (1). En effet, sur ce point comme sur tout autre où des changements de niveau ont eu lieu pendant la période historique, on peut suivre des roches contenant des coquilles dont toutes ou presque toutes habitent encore la mer voisine, jusqu'à une certaine distance dans l'intérieur des terres et souvent jusqu'à une hauteur considérable au-dessus du niveau de la mer. Ainsi, dans la contrée qui environne Naples, les couches post-pliocènes, qui consistent en argile et en lits horizontaux de tuf volcanique, s'élèvent, sur de certains points, à 450 mètres. Bien que les coquilles marines en soient exclusivement d'espèces vivantes, elles ne sont point accompagnées, comme celles de la côte de Pouzzoles, de traces de l'homme ou de ses ouvrages. Si l'on eût découvert quelques-unes de ces traces, c'eût été pour l'antiquaire et le géologue l'objet d'une grande surprise, puisqu'il eût été démontré que l'homme aurait habité cette partie du globe au temps même où les matières qui composent les collines actuelles et les plaines de la Campanie étaient encore en voie de dépôt au fond de la mer; tandis que nous savons que, pendant près de trois mille ans, ou à partir de l'époque des premières colonies grecques, aucune révolution ne s'est manifestée dans la géographie physique de cette partie de l'Italie.

A Ischia, petite île située près de Naples, composée aussi de formations marine et volcanique, le docteur Philippi a recueilli dans le tuf stratifié et l'argile quatre-vingt-douze espèces de coquilles vivantes. Au centre d'Ischia, la colline élevée, appelée Epomeo ou San-Nicolas, est formée d'un tuf endurci verdâtre, prodigieusement épais, interrompu sur certains points par des couches de marne ou par des lits massifs de lave solide. Visconti a reconnu, au moyen de mesures trigonométriques, que cette montagne s'élevait de 793 mètres au-dessus du niveau de la mer. Non loin du sommet, à la hauteur d'environ 600 mètres, et aussi

(1) Voyez à l'Index des *Principes*, SERAPIS.

près de Moropano, village situé à 30 mètres seulement plus bas sur le versant méridional de la montagne, j'ai recueilli, en 1828, plusieurs coquilles d'espèces qui habitent encore aujourd'hui le golfe voisin. Il est clair, par conséquent, que, durant la période Post-Pliocène, la grande masse de l'Epomeo avait non-seulement sa hauteur actuelle, mais encore sa forme complète au-dessous des eaux.

Il est toutefois un fait qui ne manque pas d'intérêt, c'est que les coquilles fossiles de ces tufs modernes de la région volcanique qui entoure la baie de Baïa, bien qu'aucune d'elles ne soit d'espèce éteinte, indiquent un léger défaut de correspondance entre l'ancienne faune et celle qu'on rencontre aujourd'hui dans la Méditerranée. Philippi nous apprend que, sur les quatre-vingt-douze espèces de ces coquilles qu'il recueillit avec M. Scacchi, une seule, le *Pecten medius*, qui habite aujourd'hui la mer Rouge, fait défaut dans la Méditerranée. Néanmoins, il ajoute : « La condition de la mer, lorsque se déposaient les lits tufacés, devait être essentiellement différente de son état présent : la *Tellina striata* était autrefois commune, elle est maintenant rare; la *Lucina spinosa* était plus abondante et atteignait une plus grande taille; la *Lucina fragilis*, aujourd'hui rare, et grosse à peine d'un centimètre, offrait alors l'énorme dimension de 7 centimètres, et était extrêmement abondante; enfin l'*Ostrea lamellosa* (Broc.), que l'on ne trouve plus près de Naples, existait alors et présentait une grosseur telle, qu'on a cité une valve inférieure mesurant 15 centimètres de long, 12 centimètres de large, 45 centimètres d'épaisseur, et pesant près de 600 grammes (1). »

Il existe d'autres contrées en Europe où aucune action volcanique semblable à celle qui agit aux environs de Naples ne se manifeste à la surface, soit par des éruptions de lave, soit par des tremblements de terre, et où cependant le sol et le lit de la mer voisine s'élèvent graduellement. Le mouve-

(1) *Geol. Quart. Journ.*, vol. II, Mémoires, p. 15.

ment est d'une telle lenteur, qu'il est insensible pour les habitants et qu'on ne peut le constater que par des mesures scientifiques prises avec beaucoup de soins et comparées entre elles après de longs intervalles de temps. Ainsi, on a reconnu qu'un mouvement d'élévation s'accomplit actuellement en Norwége et en Suède, sur une étendue d'environ 1 200 kilomètres N. et S., et sur une longueur inconnue E. et O. La quantité d'élévation augmente à mesure que l'on avance vers le cap Nord, où elle atteint 1 mètre et demi par siècle. En admettant qu'il y ait eu 75 centimètres d'élévation par chaque centaine d'années pendant les cinquante derniers siècles, on aurait pour cette période une élévation d'à peu près 38 mètres. Les rivages et une portion considérable de l'ancien lit de la mer du Nord et de la mer Baltique se seraient donc élevés verticalement de toute cette hauteur et, par suite, transformés en terre ferme durant le cours des cinq derniers mille ans. Nous trouvons près de Stockholm, en Suède, des lits horizontaux de sable, limon et marne, contenant toutes ces mêmes coquilles qui habitent aujourd'hui les eaux saumâtres de la Baltique. Parmi ces fossiles, on a recueilli, à différentes profondeurs, divers produits de l'industrie humaine annonçant une civilisation peu avancée, entre autres quelques vaisseaux fabriqués avant l'introduction du fer. Toute cette formation marine a subi un exhaussement tel, que les lits supérieurs sont maintenant de 18 mètres plus élevés que le niveau de la mer Baltique. Dans le voisinage de ces couches d'origine récente, au nord-ouest et au sud de Stockholm, on rencontre d'autres dépôts présentant une composition minéralogique semblable, qui s'élèvent à de plus grandes hauteurs, et dans lesquels on observe précisément le même ensemble de coquilles fossiles, mais sans aucun mélange d'ossements humains ou d'objets fabriqués.

Sur la côte opposée ou occidentale de la Suède, à Uddevalla, on voit, à la hauteur de 60 mètres, des couches post-pliocènes contenant des coquilles récentes qui n'ont point ce caractère d'eau saumâtre particulier aux espèces de la Bal-

tique, mais qui sont semblables à des espèces qui vivent encore dans l'Océan septentrional. Des couches d'argile et de sable du même âge atteignent en Norwége des hauteurs de 90 et même de 200 mètres; habituellement on les a décrites comme plages exhaussées, mais elles sont en réalité des dépôts d'origine sous-marine, qui se prolongent en long et en large sur une même épaisseur, et remplissent des vallées dans le granit et le gneiss, de la même manière qu'en différentes parties de l'Europe, les formations tertiaires couvrent ou comblent des dépressions dans les roches plus anciennes.

Bien que la faune fossile qui caractérise ces sables et argiles consiste exclusivement en espèces de testacés septentrionaux existant aujourd'hui, ces espèces, suivant Loven, habile naturaliste norwégien, ne peuvent, dans leur ensemble, être comparées d'une manière absolue à celles qui habitent aujourd'hui les latitudes correspondantes de l'Océan allemand; elles représentent nettement une faune plus arctique (1). Pour les trouver vivantes en aussi grande abondance, ou simplement pour les rencontrer, on doit aller vers le nord, à des latitudes plus hautes que Uddevalla en Suède, ou même plus près du pôle que la Norwége centrale.

A en juger par l'uniformité de climat qui se maintient depuis des siècles, et par la quantité insensible des variations qu'a subies le monde organique des temps actuels, si légère que soit la modification que nous pouvons constater aujourd'hui dans la faune mollusque, elle n'a pu s'effectuer que pendant une période de temps considérable. D'un autre côté, des motifs d'un autre ordre, tels que l'exhaussement progressif du sol dans les temps modernes, nous entraînent à supposer que les dépôts en question doivent remonter à une haute antiquité; car si nous admettons pour l'exhaussement vertical continu une moyenne de

(1) *Quart. Geol. Journ.*, vol. IV, Mémoires, p. 48.

75 centimètres par siècle, moyenne probablement exagérée, il aurait fallu vingt-sept mille années pour que la côte de la mer atteignît la hauteur de 200 mètres, et cela sans aucune oscillation de niveau, ni aucune de ces interruptions de mouvement que l'on observe aujourd'hui sur une vaste étendue de la Norwége.

En Angleterre, on a trouvé des vaisseaux enfouis dans les anciens bras, maintenant abandonnés, du Rother dans le Sussex, de la Mersey dans le Kent, et de la Tamise près de Londres. Sur presque tous les points du Royaume-Uni, on a extrait de la tourbe et de la marne à coquilles, des canots et des haches de pierre; mais aucune preuve, pas plus qu'en Suède, en Italie et dans diverses autres parties du globe, n'est venue démontrer que le lit de la mer et la côte adjacente se soient élevés en masse à des hauteurs considérables pendant la période de l'homme. Le long des côtes du Pérou et du Chili, on a découvert des couches récentes contenant d'abondantes coquilles toutes semblables, quant aux espèces, à celles qui habitent aujourd'hui l'océan Pacifique. Un lit de ce genre, dans l'île de San Lorenzo près de Lima, à la hauteur de 25 mètres au-dessus du niveau de la mer, a fourni à M. Darwin des morceaux d'étoffe de coton, du jonc tressé et un épi de maïs, tous objets ayant évidemment été enfouis avec les coquilles. A la même hauteur, sur le continent voisin, ce savant a rencontré d'autres signes confirmant l'opinion que l'ancien lit de la mer s'était aussi élevé de 25 mètres depuis que le pays avait commencé d'être peuplé par la race péruvienne (1). Mais, à de bien plus grandes hauteurs, sur d'innombrables points, entre les Andes Chiliennes et Péruviennes et le bord de la mer, on observe des masses coquillières semblables, dans lesquelles nuls débris humains n'ont été et ne seront probablement jamais rencontrés.

Dans les Indes occidentales également, dans l'île de la Guadeloupe, on trouve, au niveau du rivage de la mer, un

(1) *Journal*, p. 451.

calcaire solide qui enveloppe des squelettes humains. La pierre en est extrêmement dure, et principalement composée de coquilles et de coraux triturés, contenant çà et là quelques individus entiers d'espèces qui vivent encore dans l'océan voisin. Au sein de la masse, on découvre des têtes de flèches, des fragments de poterie et d'autres objets de fabrication humaine. Un calcaire, présentant les mêmes particularités, s'est formé et se forme encore aujourd'hui à Saint-Domingue. On connaît, en outre, dans l'Archipel des Indes occidentales, à Cuba, près de la Havane et dans d'autres îles, des roches anciennes dans lesquelles les coquilles sont identiques avec celles qui habitent encore actuellement les mêmes latitudes; quelques-unes de ces coquilles sont bien conservées, d'autres sont à l'état de moule; toutes se rapportent à la période Post-Pliocène.

J'ai déjà décrit dans le septième chapitre de cet ouvrage les effets qui seraient produits par des oscillations et changements de niveau dans tout pays arrosé par une grande rivière et ses tributaires, en supposant que la surface se relevât après s'être abaissée de plusieurs centaines de mètres. J'estime que de tels changements dans le niveau relatif de la terre et de la mer se sont produits, durant la période Post-Pliocène, dans le bassin hydrographique du Mississipi et dans celui du Rhin. L'accumulation de la matière fluviatile dans un delta pendant un abaissement lent, peut faire apparaître une masse de terre ferme égale en surface à celle qui s'abaisse, de telle sorte que celle-ci peut s'enfoncer perpendiculairement à des centaines ou à des milliers de mètres, sans que la mer qui borde le delta fasse irruption, et sans que le dépôt entier cesse lui-même de se former avec son caractère terrestre ou d'eau douce. Cette circonstance paraît se présenter dans les deltas du Pô et du Gange, car des puits artésiens récemment percés à la profondeur de 150 mètres ont montré que des couches fluviatiles avec coquilles d'espèces récentes, en même temps que d'anciennes surfaces de terre ferme couvertes de gazon et de forêts, se sont considérablement

abaissées au-dessous du niveau de la mer (1). Que ces contrées viennent à se relever lentement, et les rivières creuseront des vallées de plus en plus profondes au travers des couches horizontales et encore mal consolidées; elles entraîneront la plus grande partie de ces couches et laisseront de simples lambeaux sous forme de terrasses bordant les plaines alluviales nouvellement formées, comme autant de témoignages des premiers niveaux des rivières. Tels sont les *bluffs*, ou falaises de rivières, qui entourent aujourd'hui la vallée du Mississipi, sur une grande portion du cours de ce fleuve. Les portions supérieures de ces bluffs qui, à Natchez et ailleurs, s'élèvent souvent à la hauteur de 60 mètres au-dessus de la plaine alluviale, consistent en limon avec coquilles terrestres ou d'eau douce, des genres *Helix*, *Pupa*, *Succinœa* et *Limnœa*, appartenant aux espèces qui habitent aujourd'hui les forêts et les marais du voisinage. Dans le même limon, on trouve aussi des ossements de mastodonte, d'éléphant, de mégalonyx, et d'autres quadrupèdes éteints (2).

Je me suis efforcé de montrer la nature sédimentaire des dépôts qui forment le delta et la plaine alluviale du Mississipi et qui, s'étendant sur une surface de 48 à 50,000 kilomètres carrés, ont, sur quelques points, des centaines de mètres d'épaisseur. Bien que, faute de dates, nous ne puissions déterminer rigoureusement le nombre d'années qu'a nécessité le transport par les eaux d'une aussi grande quantité de matière terreuse, depuis les endroits élevés jusqu'à la contrée inférieure, nous pouvons cependant calculer approximativement la durée minimum de cette opération, en constatant expérimentalement la décharge annuelle des eaux du Mississipi, et la moyenne, par année, des matières solides que contiennent ces eaux. Or, l'estimation la plus faible nous conduirait à faire remonter à plusieurs dizaines de mille ans

(1) Voyez les *Principes*.

(2) Voyez les *Principes de géologie*, et *Seconde visite aux États-Unis*, par Lyell, vol. II, p. 257.

la formation du delta actuel, bien que son origine soit en quelque sorte un événement d'hier si on le compare aux terrasses formées de limon dont nous avons parlé ci-dessus. Les matières des bluffs ont été produites pendant la première période d'une grande oscillation de niveau qui a abaissé de 70 mètres une surface plus large que le delta et la plaine du Mississipi, et qui a replacé le pays dans sa position première (1).

Loess de la vallée du Rhin. — Une succession analogue de changements géographiques, accompagnée de la production d'une formation fluviatile ressemblant singulièrement à celle qui environne la grande plaine du Mississipi, paraît s'être produite dans le bassin hydrographique du Rhin, alors que ce bassin avait déjà acquis sa présente configuration en montagnes et vallées. J'entends parler du dépôt appelé *Loess* dans une partie de l'Allemagne, et *Lehm* en Alsace; dépôt rempli de coquilles terrestres et d'eau douce appartenant à des espèces vivantes. C'est un sable à grains très fins, ou limon pulvérulent, d'une couleur gris jaunâtre, consistant principalement en matière argileuse, mélangée d'un sixième de carbonate de chaux et d'un sixième de sable quartzeux et micacé. Il contient aussi des concrétions ou nodules calcaréo-sableux qui dépassent rarement la grosseur d'une tête humaine. Son épaisseur totale varie en quelques endroits entre 60 et 96 mètres; la masse ne présente souvent aucun signe de stratification, excepté vers la base, où se manifeste par places, et accidentellement, un mélange confus de matières enlevées aux roches sous-jacentes. Ce dépôt est si peu consistant et si facile à détruire, que chaque ruisselet coulant à sa surface le sillonne et l'entame profondément; il se termine habituellement par un escarpement vertical à la superficie duquel on voit çà et là des coquilles terrestres se projeter en relief.

Dans tous ses traits, ce dépôt présente exactement la contre-

(1) *Seconde visite aux États-Unis*, par Lyell, vol. II, chap. XXXIV.

partie du loess du Mississipi. Il est tellement homogène qu'il ne montre aucune trace de stratification, ce qui tient sans doute à ce que ses éléments proviennent d'une source commune et ont été accumulés par une action uniforme. Cependant, on aperçoit des preuves distinctes d'un dépôt successif, sur quelques points où alternent des matières plus grossières et des matières plus fines, spécialement vers le bas. Des concrétions calcaires renfermant aussi des coquilles terrestres sont parfois disposées dans la masse en bandes horizontales. Remarquable par sa situation, sa grande étendue, son épaisseur, l'homogénéité de sa composition minérale et son origine d'eau douce, ce dépôt montre clairement par sa distribution, qu'après l'époque où la grande vallée du Rhin, de Schaffouse à Bonn, ayant acquis sa forme actuelle, présentait un fond parsemé de graviers, il survint une période pendant laquelle cette vallée se remplit d'un bord à l'autre de limon fin, probablement déposé par les inondations des rivières ; il est clair qu'un limon semblable dut également se répandre des régions supérieures dans les vallées des principaux tributaires du Rhin. On peut en suivre la trace dans le Wurtemberg, par la vallée du Necker, à partir de Francfort en remontant la vallée du Mein, jusqu'au-dessus de Dettelbach. Je l'ai retrouvé dans les environs de Mayence, d'Eppelsheim et de Worms, sur la rive gauche du Rhin, du côté opposé, sur le plateau au-dessus de Bergstrasse, entre Wiesloch et Bruchsal, où il atteint une épaisseur de 60 mètres. Près de Strasbourg, on en rencontre de larges masses ; il existe au pied des Vosges sur le côté gauche, et à la base des montagnes de la forêt Noire sur le côté droit. Le Kaiserstuhl, montagne volcanique qui s'élève au milieu de la plaine du Rhin près de Fribourg, en a été presque partout couvert, comme aussi les volcans éteints situés entre Coblentz et Bonn. Près d'Andernach, dans le Kirchweg, le loess contenant ses coquilles ordinaires alterne avec une matière volcanique, et sur le tout reposent des lits de ponce, de lapilli et de sable volcanique, de 3 à 4 mètres d'épaisseur, très ana-

logues aux éjections sous lesquelles a été ensevelie Pompéi. A ce point de jonction, il n'existe aucun passage du loess à la couche de ponce superposée, et cette dernière suit l'inclinaison de la montagne, comme si elle était tombée en pluie sur une pente formée en partie de loess.

Mais, en général, le loess est supérieur à tous les produits volcaniques, même à ceux qui existent entre Neuwied et Bonn, et qui ont le facies le plus moderne ; il a rempli en partie le cratère du Roderberg, volcan éteint, situé près de Bonn. En 1833, un puits creusé au fond de ce cratère a traversé 21 mètres de loess, dans une portion duquel on a trouvé les concrétions calcaires habituelles.

La stratification alternante du loess avec des lits de ponce et de cendres volcaniques a conduit à penser que, durant et après la formation du dépôt, avaient eu lieu quelques-unes des dernières éruptions volcaniques du bas Eifel. Si cette opinion prévalait, nous serions obligés d'assigner à ces éruptions une date très moderne. Ce point curieux a donc besoin d'être examiné de nouveau, d'autant plus qu'il est possible que les eaux du Rhin, grossies par la fonte des neiges et des glaces, et coulant d'une grande hauteur à travers une vallée obstruée par le loess, aient entraîné les scories meubles superficielles ainsi que la ponce des volcans de l'Eifel, et les aient répandues accidentellement sur le limon jaune. Dans quelques cas aussi, la fonte des neiges sur la pente de petits cônes volcaniques peut avoir occasionné des inondations locales, capables d'entraîner des ponces légères dans les terres basses adjacentes.

La première idée qui s'est présentée à l'esprit d'un grand nombre de géologues, après l'examen du loess que l'on rencontre entre Mayence et Bâle, a été d'imaginer qu'un grand lac avait existé jadis entre ces deux villes, dans la vallée du Rhin. Ce lac aurait envoyé de vastes ramifications dans la direction du cours du Mein, du Necker, et d'autres vallées tributaires, dans chacune desquelles se rencontrent aujourd'hui de larges lambeaux de loess. La barrière du lac aurait

existé quelque part dans la gorge étroite et pittoresque du Rhin, entre Bingen et Bonn. Mais cette théorie cesse de pouvoir expliquer les divers phénomènes, lorsqu'on vient à s'apercevoir que la gorge elle-même a été jadis remplie de loess qui a dû s'y déposer tranquillement, de même que dans la vallée latérale de la Lahn qui communique avec la gorge. Le loess a également recouvert la haute plate-forme voisine, près du village de Plaidt, au-dessus d'Andernach; en outre, si l'on descend plus loin vers le nord, on découvre que les collines de la grande vallée entre Bonn et Cologne portent du loess sur leurs flancs, et que ce dépôt enveloppe aussi, çà et là, le gravier de la plaine, jusqu'à Cologne et dans tous les environs de cette ville.

Pour terminer ces objections à la théorie lacustre, rappelons qu'on voit, près de Bâle, le loess couvrant des montagnes de plus de 350 mètres au-dessus de la mer; en sorte qu'une barrière capable de séparer de l'Océan le lac supposé aurait exigé au moins une hauteur aussi considérable que celle des montagnes appelées les Sept-Collines (Siebengebirge), près de Bonn, dont la plus élevée, l'Œhlberg, a 368 mètres au-dessus du Rhin, et 417 au-dessus de la mer. Il serait nécessaire, en outre, de placer cette barrière un peu au-dessous de Cologne, c'est-à-dire, précisément à l'endroit où le niveau du sol est actuellement le plus bas.

Donc, au lieu d'imaginer un lac continu, d'une étendue et d'une profondeur suffisantes pour permettre l'accumulation simultanée du loess à différentes hauteurs sur la surface totale où on le rencontre aujourd'hui, j'ai proposé l'explication suivante. Après la période où les contrées maintenant arrosées par le Rhin et ses tributaires eurent presque acquis leur forme et leurs traits géographiques actuels, ces contrées furent de nouveau abaissées graduellement par un mouvement semblable à celui qui a lieu de nos jours sur la côte occidentale du Groënland (1). A mesure que le pays s'abaissa,

(1) *Principes de géologie.*

la pente générale des eaux entre les Alpes et l'Océan diminua également, et les vallées, principale et latérale, désormais plus exposées aux inondations des rivières, se remplirent partiellement de vase fluviatile contenant des coquilles terrestres et d'eau douce; lorsque, par cette action, une épaisseur de quelques centaines de mètres de loess se fut déposée avec lenteur, la région entière recommença à s'élever graduellement. Pendant ce mouvement, une grande quantité de limon fin dut être entraînée par le pouvoir de dénudation des pluies et des rivières; les vallées originaires furent de nouveau creusées, et la contrée presque ramenée à son état primitif, à l'exception de quelques masses ou lambeaux de loess qui restent aujourd'hui, et qui, par leur fréquence et leur remarquable homogénéité de composition et de fossiles, attestent leur ancienne continuité et leur commune origine. Si l'on admet ces oscillations de niveau, on peut se dispenser d'élever, et plus tard d'abattre une barrière de montagne capable d'exclure l'Océan de la vallée du Rhin pendant la période de l'accumulation du loess.

La proportion des coquilles terrestres des genres *Helix*, *Pupa* et *Bulimus*, est considérable dans le loess; mais, sur plusieurs points, on rencontre aussi des espèces aquatiques de *Limnæa*, *Paludina* et *Planorbis*. Pendant les inondations, ces coquilles ont pu être arrachées des étangs peu profonds et des marais qui bordaient les rivières; et la grande étendue du sol marécageux produit par de larges débordements a dû favoriser la multiplication des mollusques amphibies, tels que la *Succinæa elongata* (fig. 106), qui est presque partout caractéristique de cette formation, et se

FIG. 106. FIG. 107. FIG. 108.



Succinæa elongata. *Pupa muscorum.* *Helix plebeium.*

trouve quelquefois accompagnée, comme aux environs de Bonn, d'une autre espèce, *S. amphibia* (fig. 34).

Parmi d'autres fossiles qui abondent dans le loess, on cite l'*Helix plebeium* et la *Pupa muscorum* (fig. 107 et 108). Les coquilles, terrestres ou aquatiques, conservées dans ce dépôt, bien que d'une structure des plus fragiles et des plus délicates, sont presque invariablement dans un état parfait de conservation; or, elles eussent été mises en pièces si elles avaient été entraînées par une inondation violente. La couleur même de quelques-unes des coquilles terrestres, telles que l'*Helix nemoralis*, subsiste parfois.

Les ossements d'animaux vertébrés sont rares dans le loess, mais on en a rencontré de mammouth, de cheval et de quelques autres quadrupèdes. Au village de Binningen, et dans les collines appelées Bruder Holz, près de Bâle, j'ai trouvé des vertèbres de poissons avec les coquilles ordinaires. Ces vertèbres, suivant M. Agassiz, appartiennent sans aucun doute à la famille des requins, peut-être au genre *Lamna*. Pour expliquer leur présence parmi les coquilles terrestres et d'eau douce, on peut rappeler que certains poissons de cette famille remontent le Sénégal, l'Amazone et les grandes rivières, jusqu'à la distance de plusieurs centaines de kilomètres de l'Océan (1).

A Cannstadt près Stuttgard, dans une vallée qui appartient aussi au bassin hydrographique du Rhin, j'ai vu le loess passer sous des lits de tuf calcaire et de travertin. Plusieurs vallées dans le nord de l'Allemagne, comme celle de l'Ilm à Weimar, et celle de Tonna au nord de Gotha, montrent des masses semblables de calcaires modernes, remplies de coquilles récentes des genres *Planorbis*, *Limnæa*, *Paludina*, etc., d'une épaisseur de 15 à 25 mètres, et recouvertes accidentellement par un lit de loess fort analogue à celui du Rhin. Dans ces calcaires modernes employés pour les constructions, on rencontre des os d'*Elephas primigenius*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Ursus spelæus*, *Hyæna spelæa*, avec des os de cheval, de bœuf, de cerf et d'autres quadrupèdes, etc. En 1850,

(1) *Proceed. Geol. Soc.*, nº 43, p. 222.

nous avons trouvé, M. H. Credner et moi, dans une carrière de Tonna, à la profondeur de 5 mètres, renfermés dans une roche calcaire et environnés de feuilles dicotylédonées pétrifiées, quatre œufs d'un serpent gros comme la plus grande couleuvre d'Europe, lesquels, avec trois autres, étaient disposés en série, c'est-à-dire à la file.

Ce sont, je pense, les premiers débris de reptiles qui aient été trouvés dans des couches de cet âge.

Dans ces différents cas, le rapport des coquilles avec les espèces européennes récentes nous conduit à rapporter à une époque très moderne le remplissage et l'excavation subséquente des vallées ; cette opération ayant sans doute duré pendant une longue période de temps, depuis laquelle la faune mammifère a subi un changement considérable.

CHAPITRE XI.

PÉRIODE DU NOUVEAU PLIOCÈNE. — FORMATION DE TRANSPORT.

Terrain de transport de la Scandinavie du nord de l'Allemagne et de la Russie. Il provient du nord. — Il n'est pas toujours du même âge. — Roches en place, polies, sillonnées et striées. — Action des glaciers et des glaces flottantes. — Coquilles fossiles de la période glaciaire. — Terrain de transport du Norfolk oriental. — Dépôt d'eau douce qui lui est associé. — Couches recourbées et plissées, reposant sur des couches non dérangées. — Coquilles de Moel Tryfane. — Glaciers anciens de la Galles du Nord. — Terrain de transport de l'Irlande.

Parmi les différentes sortes d'alluviums, nous avons mentionné dans le septième chapitre la formation de transport du nord de l'Europe, à laquelle des caractères particuliers semblent aujourd'hui pouvoir faire assigner comme date, pour une partie, la période du Post-Pliocène, et pour l'autre partie, celle du Nouveau Pliocène. Je parlerai d'abord de la fraction qui s'étend des montagnes de la Finlande et de la Scandinavie au nord de la Russie, sur les basses contrées qui bordent la Baltique, et se prolonge vers le sud jusqu'à la côte orientale d'Angleterre. Cette fraction, dont l'épaisseur dépasse souvent 30 mètres, consiste en limon, sable et argile quelquefois stratifiés ; la partie non stratifiée a reçu, en Écosse, le nom de *Till*. On y trouve généralement de nombreux fragments de roches, les uns anguleux, les autres arrondis, provenant de formations de tout âge : fossilifères, volcaniques ou hypogènes, et apportés souvent de grandes distances. Quelques-uns des blocs mesurent plusieurs centaines de mètres, et leurs dimensions augmentent à mesure qu'on avance vers le nord. Presque partout le Till ne présente d'autres débris organiques que ceux arrachés par les eaux à des formations plus anciennes ; c'est donc presque uniquement d'après la position relative qu'il est possible de reconnaître son âge.

Bien que le dépôt de transport, ou *drift du nord*, comme on l'a nommé quelquefois, se compose, pour une large proportion, de fragments apportés de points souvent éloignés de plusieurs centaines de kilomètres, l'ensemble, dans chaque localité, est formé des ruines des roches sous-jacentes ou voisines, de telle sorte qu'il est rouge dans un pays de grès rouge, blanc dans une contrée crayeuse, et gris ou noir dans un district de houille ou de schiste houiller.

Lorsque la roche en place sur laquelle repose la formation de transport est un granit, un gneiss, un marbre ou toute autre roche dure qui puisse conserver longtemps les marques imprimées à sa surface, elle est ordinairement nivelée ou polie, et montre des stries parallèles et des sillons à direction déterminée. En Europe et dans le nord de l'Amérique, cette direction se lie évidemment à la ligne de parcours des blocs erratiques ; qu'elle aille du nord au sud, ou fasse un angle de 20 ou 30 degrés vers le nord-est ou le nord-ouest, elle correspond toujours à celle qu'ont suivie dans leur marche les gros blocs, anguleux ou arrondis. Ces blocs eux-mêmes sont souvent sillonnés et striés sur plus d'un côté.

J'en réfère, pour l'explication de ces phénomènes à ce qui a été dit dans les *Principes de géologie* (chap. xv), sur l'action des glaciers et des glaces flottantes. J'ai établi que les pierres dures enchâssées dans une masse de glace en mouvement, et pressées par le poids de cette masse, traçaient sur la roche solide sous-jacente de longs sillons ou rainures rectilignes et parallèles, rappelant par leur disposition la manière dont le diamant coupe le verre (fig. 109). La production du poli et des stries sur les blocs de calcaire, par les glaces qui les apportent jusqu'à la côte méridionale du Danemarck, a été observée de nos jours par le docteur Forchhammer, et nous comprenons mieux ainsi comment d'énormes glaces flottantes, roulant sur le lit de la mer, ont pu produire de semblables sillons sur une plus grande échelle. Scoresby a donné, dès l'année 1822, une descrip-

tion des glaces flottantes qu'il a observées transportant des blocs à des latitudes de 69 et 70 degrés nord, et qui s'élevaient de 30 à 60 mètres au-dessus de la surface de la mer. Plusieurs de ces glaces étaient chargées de lits de terre et

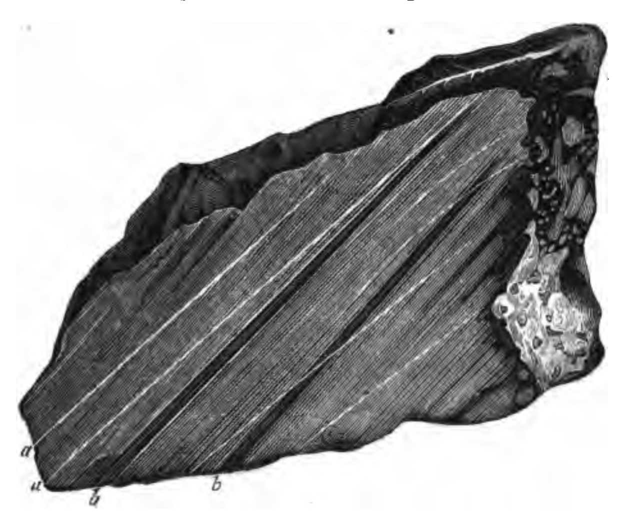


FIG. 109. — Calcaire poli, sillonné et strié par le glacier de Rosenlauï, en Suisse (Agassiz). *a, a.* Raies blanches ou stries, produites par les petits grains quartzeux enchâssés dans la glace. — *b, b.* Sillons.

de roche d'une épaisseur telle que le poids pouvait en être évalué de 50,000 à 100,000 tonnes. On sait que des transports semblables de roches ont lieu actuellement dans l'hémisphère sud ; on y voit même, beaucoup plus fréquemment que dans le nord, des blocs renfermés dans la glace. Une glace flottante a été rencontrée, en 1839, en plein Océan, dans les régions antarctiques, à plusieurs centaines de kilomètres de toute terre connue, se dirigeant vers le nord et contenant un énorme bloc erratique solidement enchâssé par la congélation dans sa masse. Pour comprendre comment, dans ces circonstances, peuvent se creuser de longs et étroits sillons, il faut se rappeler que les îles de glace flottantes présentent, dans leur mouvement, une fermeté toute particulière, due au poids de la large portion de leur masse qui reste plongée sous les eaux ; on les voit à peine remuer sous l'ac-

tion des vents ou des vagues, même pendant les plus fortes tempêtes. Beaucoup d'observateurs ont supposé que la grosseur communément attribuée aux glaces flottantes était exagérée, mais on a reconnu aujourd'hui que l'estimation vulgaire donnée à leurs dimensions était plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité. Plusieurs de ces masses, mesurées avec beaucoup de soin par les officiers de l'expédition scientifique française de l'*Astrolabe*, avaient de 35 à 70 mètres d'élévation au-dessus de l'eau, et 2 à 5 kilomètres de longueur. Le capitaine d'Urville assure que l'une de celles qu'il a vues flotter dans l'Océan méridional avait 20 kilomètres de long et 30 mètres de hauteur, avec des pans tout à fait verticaux. La portion submergée de ces îles doit être, en raison du poids de la glace comparé à celui de l'eau de mer, six à huit fois plus considérable que la portion visible, et le pouvoir mécanique dont elles disposent, lorsqu'elles sont fortement mises en mouvement, doit être prodigieux (1). On suppose qu'une grande partie de ces blocs ne provient pas de glaciers terrestres (*Principes*, chap. XV), et qu'ils auraient plutôt été formés au pied de falaises, par des neiges transportées des terres sur la surface gelée de l'Océan.

On sait qu'en fondant, les glaciers de Suisse abandonnent à leur extrémité inférieure un monticule de boue, de sable, et de fragments de roches confusément mêlés et non stratifiés, appelé *moraine ;* on doit donc s'attendre à trouver dans les eaux tranquilles une formation du même genre après la fonte des glaces flottantes. Mais, que l'action d'un courant intervienne sur certains points, en certaines saisons, et les matières, reprises par les eaux à mesure qu'elles tomberont, seront déposées en lits, suivant leur poids ou leur grosseur relative, et donneront ainsi lieu aux passages du *Till* à l'argile stratifiée, au gravier, au sable et aux intercalations de l'un dans l'autre.

(1) T.-L. Hayes, *Bost. Journ. nat. hist.*, 1844.

Une autre sorte de dépôt, qui se lie avec la formation de transport, a justement attiré l'attention des géologues, en Norwége et en d'autres parties de l'Europe. Des sommets abrupts et des pans verticaux de rochers se trouvent souvent polis et sillonnés sur leur côté nord, c'est-à-dire sur le côté qui fait face à la région de laquelle sont venus les blocs erratiques, tandis que, sur l'autre versant, ordinairement plus à pic et souvent perpendiculaire, appelé le *lee-side* (côté opposé au vent), ces marques superficielles font défaut; de plus, il existe, en général, sur le *lee-side* un amas de gravier et de matériaux transportés, ou de gros fragments angulaires. Pour expliquer ce fait, il faut supposer qu'à l'époque où il était encore submergé, le côté nord a subi l'action des glaces flottantes, et que, lorsque la terre est venue à s'élever ensuite, il a été exposé à celle des glaces côtières qui roulaient sur le fond, ou s'amoncelaient sur la plage; de telle sorte qu'il y eut un charriage considérable et prolongé sur le versant dirigé vers la mer, tandis que sur le versant opposé, le gravier et les matières de transport s'accumulèrent pour ne plus changer de place.

Les erratiques proviennent du Nord.— On ne saurait douter que les erratiques aient été transportés du nord de l'Europe vers le sud; ceux de granit, par exemple, répandus sur de vastes surfaces en Russie et en Pologne, se rapportent exactement, quant à leurs caractères, aux roches des montagnes de la Laponie et de la Finlande, tandis que les masses de gneiss, de syénite, de porphyre et de trapp, disséminées sur les contrées basses et sablonneuses de la Poméranie, du Holstein et du Danemarck, sont identiques par leurs caractères minéralogiques avec les roches des montagnes de la Norwége et de la Suède.

On reconnaît, comme règle générale en Russie, que les blocs plus petits sont à de plus grandes distances du point de départ que les plus gros; ces distances sont quelquefois de 1200 et même de 1500 kilomètres dans la direction du N.-O. au S.-E., ou des montagnes de la Scandinavie aux

mers et aux basses terres vers le S.-E. Sur plusieurs points, la formation de transport se trouve superposée à des couches qui contiennent des coquilles récentes, ce qui prouve que cette accumulation a eu lieu, en partie, pendant la période Post-Pliocène. Ainsi, dans la Russie d'Europe, MM. Murchison et de Verneuil ont constaté, en 1840, que le pays plat qui s'étend entre Saint-Pétersbourg et Archangel sur une longueur de 900 kilomètres se compose de couches horizontales, pleines de coquilles semblables à celles qui habitent actuellement la mer Arctique, et qu'au-dessus, repose la formation de transport contenant d'énormes erratiques.

En Suède, dans le voisinage immédiat d'Upsal, j'ai observé, en 1834, un monticule allongé de sable stratifié et de gravier, traversé en son milieu par une bande de marne évidemment formée au fond de la Baltique, ainsi que le prouvent les pétoncles et les coquilles marines d'espèces vivantes qu'on y rencontre mêlées à quelques testacés propres aux eaux douces. Les coquilles marines sont toutes de petite taille comme celles qui habitent actuellement les eaux saumâtres de la Baltique ; la marne, qui en contient des myriades, est élevée aujourd'hui à plus de 30 mètres au-dessus du niveau du golfe de Bothnie. Sur le sommet du monticule, reposent plusieurs énormes erratiques de gneiss, qui, pour la plupart, ne sont pas arrondis ; ces blocs, de 2 à 4 mètres de diamètre, ont dû être amenés dans leur position actuelle à une époque où le golfe voisin était déjà caractérisé par sa faune particulière (1). Ici, par conséquent, on a la preuve que le transport des erratiques s'est accompli, non-seulement lorsque la mer était déjà habitée par les testacés existants aujourd'hui, mais encore lorsque le nord de l'Europe avait acquis déjà le principal trait de sa géographie physique : la séparation de la Baltique de la mer du Nord, par suite de laquelle les eaux du golfe de Bothnie devinrent trois fois moins salées que celles de l'Océan. Dans le Danemarck aussi,

(1) Voyez le Mémoire de l'auteur, *Philos. Trans.*, 1835, p. 15.

on a trouvé des coquilles récentes au sein de lits stratifiés étroitement liés à l'argile de transport.

Nous avons vu qu'en Russie les erratiques diminuaient généralement de grosseur à mesure qu'ils s'éloignaient de leur point de départ. La même observation s'applique au transport scandinave, lorsqu'on le suit vers le midi, depuis le sud de la Norwége et de la Suède, à travers le Danemarck et la Westphalie. Ce phénomène est en parfaite harmonie avec la théorie qui admet des îles de glace flottant dans une mer de profondeur variable; plus les erratiques sont volumineux, plus ils ont besoin, pour être transportés, de glaces flottantes de grandes dimensions, et n'y eût-il même aucune pierre enchâssée dans la glace, plus des sept huitièmes et souvent des neuf dixièmes de sa masse sont sous l'eau. Or, plus le volume d'une glace flottante est considérable, plus promptement elle s'arrête sur les points les moins profonds de la mer, tandis que les glaces plus petites et plus légères, chargées de limon et de gravier plus fins, passent librement sur les mêmes bancs, et se portent à de plus grandes distances. Sur les points où, durant de longues périodes de siècles, des blocs auront été charriés vers le sud par l'impulsion des glaces côtières, ces blocs, souvent échoués, puis remis à flot dans la direction d'un puissant courant, présenteront un volume d'autant moins considérable qu'on les rencontrera sur des lieux plus éloignés de leur point de départ. Cela tient d'abord aux mouvements incessants de va-et-vient qu'ils ont subis au milieu des vagues, puis à cette circonstance que les blocs les plus considérables sont rarement exempts de joints ou plans divisionnaires facilement séparables; ces joints permettent à une portion de la masse de se détacher du reste toutes les fois qu'un bloc, rendu plus léger par la formation d'une couche de glace à sa surface, se met en route pour un nouveau voyage. L'examen que j'ai fait, en 1852 aux États-Unis, de plusieurs traînées d'énormes erratiques, à la latitude de 42° 50′ nord, dans le Berkshire, sur les confins Ouest du Massachusetts, m'a convaincu que

cette dernière cause a eu beaucoup d'influence, tant pour réduire la grosseur des erratiques, que pour rendre la forme anguleuse à des blocs qui se fussent nécessairement arrondis par l'effet d'un long parcours.

Le *drift*, ou terrain de transport des latitudes plus méridionales, est ordinairement d'une très haute antiquité. En Écosse, il repose immédiatement sur les roches anciennes; des couches de sable et d'argile le recouvrent. En général, il est dépourvu de fossiles, mais, sur certains points de la côte Est et Ouest, par exemple dans les estuaires de la Tay et de la Clyde, il contient des coquilles marines. Les mêmes coquilles ont été trouvées dans le Nord, à Wick, en Caithness, et sur les plages du Moray Frith. Le dépôt principal, sur la Clyde, est à la hauteur d'environ 21 mètres; mais quelques coquilles (fig. 110 à 115) y ont été signalées à une hauteur de 200 mètres au-dessus de la mer. La proportion des espèces

FIG. 110. — *Astarte borealis.* FIG. 111. — *Leda oblonga.*

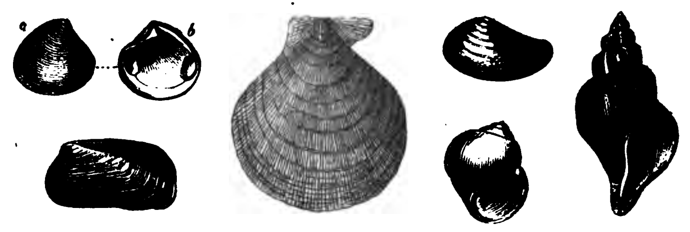


FIG. 112. *Saxicava rugosa.* FIG. 113. *Pecten Islandicus.* FIG. 114. *Natica clausa.* FIG. 115. *Trophon clathratum.*

Coquilles septentrionales, habituelles dans le drift de la Clyde, en Écosse.

récentes est de 85 à 90 pour 100; les autres sont inconnues; un certain nombre même des premières habitent aujourd'hui les mers plus septentrionales, où nous pourrons peut-être retrouver plus tard des représentants vivants de quelques-uns des fossiles inconnus. La distance à laquelle les blocs erratiques ont été entraînés vers le Sud en Écosse, et la ligne qu'ils ont parcourue (ligne souvent tout à fait indépendante de la position actuelle des montagnes et des vallées), favorise l'idée, qu'en général, des radeaux de glace plutôt que des

glaciers ont été les agents de transport. Les Grampians, dans le Forfarshire et le Perthshire, ont une élévation de 1000 à 1200 mètres. Au sud de ces montagnes, s'étend la large et profonde vallée de Strathmore, et, au midi de celle-ci, à la hauteur de plus de 450 mètres, les collines de Sidlaw (1). Sur les sommets les plus élevés de cette chaîne formée de grès et de schiste, on trouve, à différentes hauteurs, de gros fragments angulaires de micaschiste, mesurant 90 centimètres à 4m,50 de diamètre; les plus rapprochées des roches des Grampians auxquelles on puisse les rapporter sont éloignées d'au moins 15 kilomètres. Quelques autres fragments ont été répandus çà et là sur le fond de la vallée de Strathmore.

Encore plus loin, au sud des collines de Pentland, à la hauteur de 400 mètres au-dessus de la mer, M. Maclaren a observé un fragment de micaschiste pesant 8 000 à 10 000 kilogrammes. Or, la montagne la moins éloignée qui appartienne à cette formation est distante de 60 kilomètres (2).

M. le professeur E. Forbes a démontré que la faune testacée de la période de transport, en Écosse, en Angleterre et en Irlande, compte un bien plus petit nombre d'espèces que celle des mers britanniques actuelles, et qu'elle est aussi beaucoup moins riche en espèces que la faune Vieux-Pliocène du crag qui l'a précédée. De plus, les espèces vivent presque toutes encore dans les mers britanniques ou dans les mers plus septentrionales; les coquilles des latitudes plus arctiques sont les plus abondantes dans le drift, du Nord au Sud.

Cette large distribution de fossiles ne peut s'expliquer par la supposition que les mollusques du *drift* auraient habité une mer profonde et des canaux d'une température plus uniforme. Au contraire, plusieurs espèces étaient littorales; d'autres appartenaient à une mer profonde d'une trentaine

(1) Voyez ci-dessus, coupe, p. 79.

(2) *Geol. of Fife*, etc., p. 220.

de mètres tout au plus ; un très petit nombre seulement auraient pu vivre, suivant le professeur E. Forbes, à plus de 90 mètres de profondeur. Il en résulte que la formation de transport montre presque partout, dans ses éléments minéralogiques, un mélange hétérogène de débris des terres adjacentes et de pierres anguleuses ou arrondies, venues de points souvent très éloignés. Dans nos comtés de l'Est, par exemple dans le Norfolk, le Suffolk, le Cambridge, le Hertford, l'Essex et le Middlesex, cette formation contient des représentants des couches siluriennes, carbonifères, liasiques, oolitiques, crétacées, chacun avec ses fossiles particuliers, et associés confusément à du trapp, à de la syénite, à du micaschiste, à du granit et à d'autres roches cristallines. On en observe un très beau cas dans les faubourgs de Londres, sur le sommet de Muswell Hill, Highgate. Mais, au sud de la ville, le transport du Nord manque ; on n'en trouve aucune trace sur le Weald de Surrey, de Kent et de Sussex.

Terrain de transport du Norfolk. — Nulle part en Angleterre, le terrain de transport ne peut être étudié avec plus de fruit que sur les falaises de la côte de Norfolk, entre Happisburgh et Cromer, où elles présentent des coupes verticales de 15 à 25 mètres de hauteur, sur une longueur d'environ 25 kilomètres. Le nom de *diluvium* avait d'abord été donné à ce terrain par les géologues, qui le croyaient produit par l'action violente d'un déluge subit et passager, mais plus tard, d'autres savants, rejetant cette hypothèse, lui ont appliqué le nom de *drift.* Il est composé, en grande partie, d'argile, de limon et de sable, tantôt stratifiés, tantôt non stratifiés. Des galets, et en même temps quelques gros blocs transportés de granit, de porphyre, de green stone, de lias, de craie et d'autres roches, y sont répandus et comme entremêlés, surtout à travers le *Till.* A mon avis, quelques-uns des fragments, granitiques ou autres, proviennent, sans aucun doute, de la Scandinavie, car j'ai moi-même suivi les traces non interrompues des blocs depuis la Norwége et la Suède jusqu'au Danemarck, et, à travers l'Elbe et la Westphalie,

jusqu'aux frontières de la Hollande. Pourquoi serait-on surpris de retrouver ces blocs sur notre côte orientale, entre la Tweed et la Tamise ? Ces régions ne sont-elles pas moitié moins éloignées de certaines parties de la Norwége que ne le sont, de leur point de départ, divers erratiques observés en Russie ?

Les falaises du Norfolk renferment aussi, sur plusieurs points, des débris de craie blanche, mêlés de matières étrangères, et même de gros fragments de craie solide. Ce *drift* ne présente aucun fossile qui puisse positivement se rapporter à l'époque de son accumulation, mais il recouvre, en certains endroits, une formation d'eau douce contenant des coquilles récentes, tandis qu'ailleurs il se trouve mêlé à la même formation, circonstance qui semble prouver la contemporanéité des deux dépôts (fig. 116).

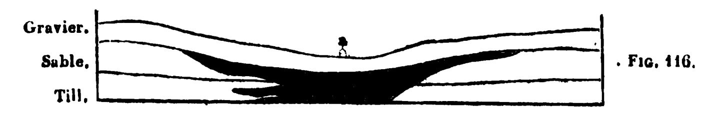


FIG. 116.

La portion ombrée indique les lits d'eau douce.
Intercalation de lits d'eau douce, de lits d'argile et de sable du drift, à Mundesley.

Cette alternance de stratification est représentée dans la figure 116 : la partie ombrée indique la position des couches d'eau douce ; elles contiennent beaucoup de matières végétales et sont partagées en plusieurs lits très minces. Les coquilles que l'on y rencontre appartiennent aux genres *Planorbis*, *Limnæa*, *Paludina*, *Unio*, *Cyclas*, et autres; toutes sont d'espèces britanniques, excepté une petite Paludine qui habite aujourd'hui la France (fig. 117).


Fig. 117. — *Paludina marginata*, Michaud (*P. minuta*, Strickland).
La figure du milieu est de grandeur naturelle.

La *Cyclas* (fig. 118) n'est qu'une variété remarquable de l'espèce anglaise commune. Des écailles et dents de poissons

des genres brochet, perche, rouget et autres, accompagnent ces coquilles; mais les espèces n'en sont point considérées par M. Agassiz comme identiques avec les espèces connues d'Angleterre et d'Europe.

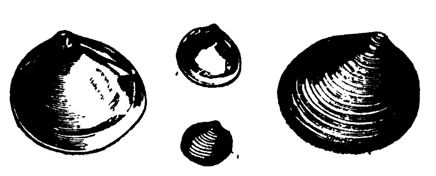


FIG. 118. — *Cyclas (Pisidium) amnica*, var.? Les deux figures du milieu sont de grandeur naturelle.

Les falaises du Norfolk oriental présentent, en commençant par la base, la disposition suivante : d'abord la craie, puis des lambeaux d'une formation tertiaire, marine, appelée crag de Norwich; en troisième lieu, les couches d'eau douce déjà mentionnées, et enfin le dépôt de transport. Immédiatement au-dessus de la craie, ou du crag lorsque celui-ci existe, apparaissent çà et là les vestiges d'une forêt enfouie, c'est-à-dire une couche dans laquelle on retrouve conservant leur position naturelle, des souches et racines d'arbres dont les troncs ont été rompus à ras de terre et ensevelis avec leurs branches et leurs feuilles. Il est à remarquer que les couches de la formation de transport ont souvent subi de grands dérangements sur des points où le lit de la forêt sous-jacente et la craie n'en ont éprouvé aucun. Il se présente aussi des cas où la portion supérieure de cette formation a été fortement dérangée, tandis que les lits inférieurs en sont restés horizontaux. La coupe ci-contre (fig. 119) reproduit un escarpement de 15 mètres environ; à sa

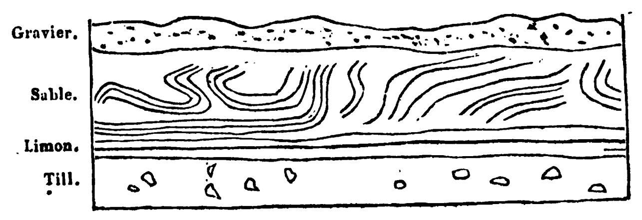
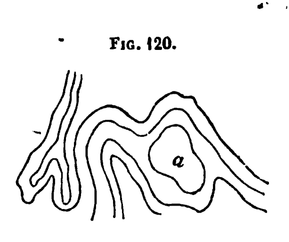


FIG. 119. — Rocher de 15 mètres d'élévation, entre Bacton Gap et Mundesley.

base, est du *till* ou argile non stratifiée, contenant des blocs de transport et offrant une surface horizontale unie

sur laquelle reposent, en stratification concordante, des lits d'argile feuilletée et du sable; viennent ensuite, sur 6 mètres d'épaisseur, des bandes verticales, courbées en tout sens, de sable et de limon; le tout est recouvert d'un gravier siliceux. Les lits, différemment colorés, de sable meuble, de limon et de galets, sont contournés à tel point que non-seulement il en est qui offrent une direction verticale sur une élévation de 4 ou 5 mètres, mais que d'autres sont tellement repliés sur eux-mêmes, qu'un puits perpendiculaire en rencontrerait jusqu'à trois fois les mêmes bandes. Sur quelques points, on observe une incurvation apparente des lits autour d'un noyau central, comme en *a* (fig 120) où ce noyau est une

FIG. 120.



Plissement des couches, entre Runton est, et Runton ouest.

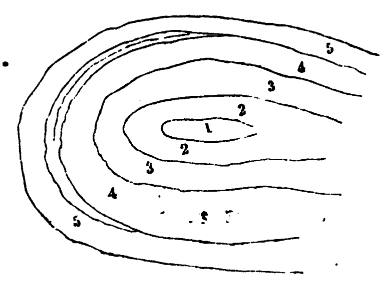


FIG. 121. — Section de lits concentriques, à l'ouest de Cromer.
1. Argile bleue. — 2. Sable blanc. — 3. Sable jaune. 4. Limon et argile. — 5. Argile bleue, feuilletée.

petite masse de craie, ou comme dans la fig. 121, où l'argile bleue n° 1 forme le centre commun des couches contournées 2, 3, 4, 5; la masse totale a 6 à 7 mètres de hauteur perpendiculaire. Cette disposition concentrique autour d'un noyau n'est cependant qu'une apparence trompeuse, et résulte de l'intersection de certains lits recourbés sous forme convexe; ce qui semble le noyau n'est en réalité que le lit le plus intérieur de la série, devenu partiellement visible par l'enlèvement des portions saillantes des lits les plus extérieurs.

Au nord de Cromer, on observe d'autres bons exemples de *drift* contourné, reposant sur une base de craie stratifiée horizontalement et à surface plane.

Ces phénomènes, déjà suffisamment difficiles à expliquer par eux-mêmes, le deviennent plus encore lorsqu'on rencontre accidentellement dans le *drift* de gros fragments de craie d'un diamètre de plusieurs mètres. Il en existe un exemple frappant à l'ouest de Sherringham, où un énorme piton crayeux, de 23 à 25 mètres de haut, est flanqué, sur ses deux côtés, de lits verticaux de limon, d'argile et de gravier (fig. 122). Ce piton n'est que l'une des masses très nom-

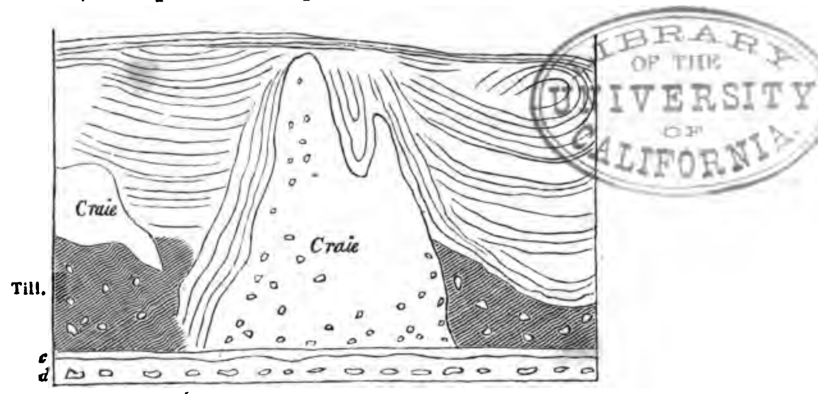


FIG. 122. — Piton de craie au milieu de couches, à Old Hythe, ouest de Sherringham. *d*. Craie, avec lits réguliers de silex. — *c*. Lit appelé *le pan*, de craie meuble, de silex et de coquilles marines d'espèces récentes, cimentés par de l'oxyde de fer.

breuses qui furent enveloppées dans le *drift* et entraînées avec lui jusqu'à leur place actuelle. On peut suivre la surface unie de la craie *in situ* (*d*) sur plusieurs kilomètres, le long de la côte, où elle a échappé aux violents mouvements qui ont agité le terrain de transport qui la recouvre (1).

Mais, comment s'est-il produit dans les masses supérieures des mouvements auxquels les couches sous-jacentes n'auraient point participé? Si l'on suppose que le *till* et ses blocs aient été apportés par la glace à leur place actuelle, une pression latérale a pu être exercée par les îles de glace qui ont échoué. On sait, d'après les observations faites par

(1) Pour une description plus complète du *drift* du Norfolk oriental, voyez un Mémoire de l'auteur, *Philos. Magaz.*, n° 104, mai 1840.

MM. Dease et Simpson, dans les régions polaires, que ces îles, lorsqu'elles roulent sur le fond, poussent devant elles d'énormes amas de cailloux et de sable. Il est donc probable qu'elles apportent un grand trouble dans l'arrangement des couches flexibles, incohérentes, qui forment la partie supérieure des bas-fonds ou bancs submergés, tandis que les portions inférieures des mêmes couches ne subissent aucune modification. Les courbures compliquées de ces couches de sable meuble et de gravier peuvent aussi être attribuées en partie à la fonte sur place des glaces flottantes et des glaces côtières ; les galets, le sable, la glace, la neige et la boue forment alors une série de dépôts interstratifiés où l'on retrouve de grandes masses de roches détachées des falaises. Souvent encore, des îles de glace chavirent pendant le flottage et forcent le gravier qui était d'abord horizontal, à prendre, avant que la glace fonde, une position inclinée ou verticale. L'amoncellement de la glace sur une côte doit aussi produire un dérangement semblable dans un conglomérat congelé de sable ou de cailloux, et comme l'a supposé M. Trimmer (1), des lits de matières terreuses peuvent s'enfoncer lentement pendant la fonte de la glace intercalée dans leurs feuillets et recevoir les positions les plus fantastiques et les plus anormales, tandis que les couches situées au-dessous restent parfaitement horizontales.

Certaines courbures se sont peut-être produites d'une autre manière. Lorsqu'un chemin de fer traverse un marais ou le lit d'un lac desséché, le sol, qui consiste d'ordinaire en tourbe et en marne coquillière ou en sable meuble et en vase, ne tarde pas à céder, et s'enfonce à mesure que l'on élève le remblai. En même temps on voit, à la distance de plusieurs mètres, les points les plus voisins du marais se couvrir d'éminences formées par des couches refoulées, exhaussées, et dont l'élévation correspond au volume et au poids des matériaux entassés pour le remblai. J'en ai vu en 1852

(1) *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. VII, p. 22.

un remarquable exemple dans les faubourgs de Boston (États-Unis), près de South-Cove. Dans le but de dessécher une portion d'estuaire inondée à marée haute, on avait enterré plus de 820,000 mètres cubes de pierre et de sable. Sous cet énorme poids, la vase baissa de plusieurs mètres, tandis que l'autre portion de l'estuaire, sur laquelle existait une épaisse végétation de plantes d'eau salée, visible seulement à marée basse, s'éleva graduellement dans l'espace de plusieurs mois de 1m,50 à 2 mètres au-dessus du niveau des plus hautes eaux. La masse exhaussée se courba en cinq ou six plis anticlinaux, et, au-dessous du lit superficiel qui portait les plantes marines, on rencontra, plus bas que le niveau des hautes marées, une vase pleine de coquilles marines telles que *Mya arenaria*, *Modiola plicatula*, *Sanguinolaria fusca*, *Nassa obsoleta*, *Natica triseriata* et autres. Dans quelques-unes des couches courbes, les lits de coquilles étaient tout à fait verticaux. La surface exhaussée offrait une largeur de 22 mètres sur une longueur de plusieurs centaines de mètres.

Lorsqu'après la fonte de glaces flottantes et de glaces côtières, une charge semblable pèse sur un fond de mer formé de sable et de vase molle, quelques-unes des roches adjacentes, flexibles, doivent subir des dérangements et contournements analogues, tandis que les roches sous-jacentes, plus solides, échappent à ces perturbations, et que les couches qui viennent plus tard les recouvrir se déposent sur un plan parfaitement horizontal.

Sur la côte de Norfolk, existe au-dessous du drift une forêt souterraine. A l'époque où vivaient ces arbres le sol était évidemment à sec sur une large étendue, et ce n'est que plus tard qu'il fut submergé et recouvert par une masse de drift stratifié ou non stratifié de 60 mètres et plus d'épaisseur. L'action destructive qu'exerce aujourd'hui la mer sur les roches nous fait comprendre cette superposition, et atteste que la forêt n'existait pas jadis le long de la ligne de côte actuelle. Sa situation implique, depuis le commencement de

la période de transport, un abaissement de plusieurs centaines de mètres, suivi d'un exhaussement du même sol, car le lit de la forêt est redevenu aujourd'hui suffisamment élevé pour être visible sur plusieurs points à basses eaux. Le mouvement d'exhaussement peut aussi expliquer comment le *till*, malgré son origine sous-marine, se rencontre actuellement au loin dans les terres et sur le sommet de collines.

La formation de transport de l'ouest de l'Angleterre, observée dans le Lancashire, le Cheshire, le Shropshire, le Staffordshire et le Worcestershire, contient, en quelques endroits, des coquilles marines d'espèces récentes, à des hauteurs qui varient de 30 à 100 mètres au-dessus de la mer. Les erratiques sont venus en partie des montagnes du Cumberland, et en partie de celles de l'Écosse.

Mais c'est sur les montagnes de la Galles du Nord que le terrain de transport, avec ses fossiles marins caractéristiques, atteint la plus grande élévation. Sur Moel Tryfane, près du Menai Straits, M. Trimmer a rencontré des coquilles d'espèces ordinaires au drift, à la hauteur de 420 mètres au-dessus de la mer.

Il est remarquable que la même contrée qui nous fournit des preuves d'un abaissement si considérable de la terre pendant une partie de la période glaciaire, nous apporte aussi les preuves les plus décisives de l'existence d'anciens glaciers atmosphériens. Le docteur Buckland a publié, en 1842, les motifs qu'il avait de penser que les montagnes de Snowdon, dans le Caernarvonshire, étaient anciennement couvertes de glaciers, rayonnant des hauteurs centrales par les sept vallées principales de la chaîne où l'on observe des stries et des cannelures dirigées vers autant de points différents de la boussole. Il a aussi décrit les *moraines* des anciens glaciers et les *bosses* ou petits dômes surbaissés de roches polies, semblables à ceux que produit, dans les montagnes de la Suisse, l'action des glaciers en mouvement, lorsque le gravier, le sable et les cailloux de transport qui sont sous la glace frottent en

passant sur là roche dure. M. Darwin, et après lui le professeur Ramsay, ont confirmé la manière de voir du docteur Buckland, quant aux glaciers des monts Snowdon. En réalité, on pouvait prévoir qu'en découvrant des preuves de l'ancienne abondance durant la période Pleistocène de glaces flottantes sur la surface maintenant occupée par les îles Britanniques, les géologues rencontreraient en même temps des traces de glaciers contemporains qui auraient couvert les montagnes, même de moyenne élévation, entre le 50e et le 60e degré de latitude.

En Irlande, le *drift* offre les mêmes caractères généraux et les mêmes débris fossiles qu'en Écosse et en Angleterre ; mais, dans la partie sud de cette île, le professeur E. Forbes et le capitaine James ont trouvé au sein du dépôt quelques coquilles montrant que la mer Glaciale communiquait avec une autre mer habitée par une faune plus méridionale. Parmi différentes espèces, ils mentionnent la présence, à Wexford et ailleurs, de la *Nucula Cobboldiæ* (fig. 125), de la *Turritella incrassata* (fossile du crag), et aussi d'une forme méridionale de *Fusus*, ainsi que d'une *Mitra* alliée à une espèce propre à l'Espagne (1).

(1) Forbes, *Mémoires du Geol. Survey*, vol. I, p. 377.

CHAPITRE XII.

Difficulté d'interpréter les phénomènes du terrain de transport avant que l'hypothèse glaciaire fût adoptée. — Influence d'un froid intense sur l'augmentation de la quantité d'alluvium.—Analogie entre les erratiques et les roches rayées dans le nord de l'Amérique et en Europe. — Opinion de Bayfield sur les coquilles du terrain de transport du Canada. — Explication des phénomènes glaciaires par un grand abaissement et une réélévation de la terre au-dessus de la mer. — Raisons de la rareté des débris organiques dans le transport nord. — *Mastodon giganteus* aux États-Unis. — Différentes coquilles et quelques quadrupèdes ont survécu au froid glaciaire. — Les Alpes, centre indépendant de dispersion des erratiques. — Blocs alpins sur le Jura. — Ont-ils été transportés par des glaciers ou par des glaces flottantes? — Transports récents d'erratiques des Andes à Chiloe. — Météorite dans le terrain de transport asiatique.

On a vu que les neuf dixièmes au moins des coquilles marines qui caractérisent la formation de transport appartiennent à des espèces vivant encore de nos jours. La position superficielle du *drift*, aussi bien que les débris organiques qu'il renferme, nous conduit à rapporter son origine à une période moderne. Si donc on rencontre tant de difficultés dans l'interprétation de monuments relatifs à des temps si rapprochés de nous, comment se flatterait-on d'arriver à déchiffrer l'histoire des âges plus éloignés? Pour répondre à cette question, je m'efforcerai de prouver que ce qui semble le plus anormal dans la *formation erratique*, comme l'appellent quelques géologues, n'est en réalité que le résultat de l'action glaciaire.

Le mot *diluvium* a servi pendant quelque temps de désignation vulgaire à la formation de transport rapportée par quelques géologues au déluge ; d'autres savants ont adopté ce mot comme expression de l'opinion suivant laquelle une série d'inondations diluviennes, occasionnées par les ouragans et les tempêtes, les tremblements de terre ou les exhaussements subits du sol au-dessus du lit de la mer, auraient

envahi les continents, traînant avec elles de vastes masses de boue et de pierres, et frottant sur la surface des roches de manière à la polir et à produire de longs sillons et des stries.

Mais on n'expliquait pas comment cette action s'était manifestée plus énergiquement dans les temps modernes qu'aux premières périodes de l'histoire de la terre, ni pourquoi elle s'était déployée dans sa plus grande intensité vers les latitudes septentrionales ; car il est important d'insister sur ce fait que la formation de transport est un phénomène du Nord. Son extension méridionale, les grands erratiques trouvés dans les Alpes et dans la contrée environnante, spécialement leur présence autour des parties les plus élevées de la chaîne, constituent une exception qui ne peut que confirmer l'hypothèse glaciaire, car le transport des fragments de pierres à de grandes distances, et la production des stries, du poli et des sillons sur les roches solides en place, sont encore ici intimement liés avec les accumulations de neige et de glaces perpétuelles.

Quiconque a comparé les bords de la Baltique avec ceux de la Méditerranée, ne saurait douter qu'il existe une connexion intime entre le fait d'un climat froid ou septentrional et les divers phénomènes géologiques communément appelés de nos jours *glaciaires*. On peut suivre les roches polies et striées, ainsi que les erratiques, depuis le rivage de la mer Baltique jusqu'à la hauteur de 914 mètres au-dessus de son niveau, tandis que ces phénomènes manquent totalement dans les contrées qui bordent la Méditerranée ; leur absence est encore plus marquée dans les parties équatoriales de l'Asie, de l'Afrique et de l'Amérique. Mais, lorsqu'on passe le tropique du Sud et qu'on arrive au Chili et à la Patagonie, on retrouve la formation de transport entre la latitude 41° Sud et le cap Horn, précisément avec les mêmes caractères qu'on lui connaît en Europe. Les indications relatives au climat, que nous fournissent les débris organiques du drift, sont, comme nous l'avons dit, en parfaite harmonie avec les conclusions dont il a été question ci-dessus ; on peut

établir exactement l'ancien habitat des mollusques, d'autant mieux que ceux-ci appartiennent à des espèces encore vivantes et très abondamment répandues aujourd'hui dans les mers septentrionales.

Mais, si l'on a raison d'admettre que l'hémisphère septentrional a été, durant la période en question, beaucoup plus froid qu'il ne l'est aujourd'hui (ainsi que le rendent probable un plus grand développement des terres arctiques en surface et en hauteur, ou la quantité plus considérable de glaces flottantes qu'un tel état géographique devait produire), il faut bien réfléchir, avant d'aller plus loin, sur la modification totale que subiraient, sous l'influence d'un froid extrême, les causes productrices les plus actives de la formation de l'alluvium. Une grande quantité de matières provenant de détritus des roches, et qui, dans les climats chauds, formerait des deltas ou serait régulièrement stratifiée par les courants marins, prendrait au contraire, sous les influences arctiques, un caractère superficiel et alluvial. La boue ne se trouverait pas transportée plus loin de la côte que le sable, ni le sable plus loin que les galets; des masses stratifiées, pesantes, cesseraient de s'accumuler sur des surfaces limitées, le long des bords des continents. La glace entraînerait pêle-mêle, à des distances égales, la presque totalité des matières, qu'elles fussent grossières ou fines, et d'énormes fragments que l'eau seule ne suffirait jamais à remuer seraient charriés à des centaines de kilomètres sans que leurs arêtes fussent usées ou fracturées; enfin, les masses terreuses et pierreuses, une fois dégagées par la fonte des masses congelées, resteraient confusément sur le fond de la mer, les sommets, ou les basses plaines, sans affecter aucun rapport avec les inégalités du sol et reposant sur les crêtes ou sur les flancs des montagnes aussi indifféremment que dans les vallées et les ravins. Parfois, dans ces parties profondes et inhabitées de l'Océan où n'arrivent habituellement que les plus fins sédiments, le fond se recouvrirait d'une couche épaisse de gravier, de boue et de transport.

Dans l'hémisphère occidental, au Canada et même aux États-Unis, en s'avançant vers le sud jusqu'au 38e parallèle de latitude, on observe toutes les particularités qui distinguent la formation de transport en Europe : des fragments de pierres ont voyagé du sud au nord à de longues distances; la surface de la roche sous-jacente est striée et cannelée; une boue non stratifiée, ou *till*, contenant des blocs de transport, est associée à des couches de limon, de sable et d'argile ordinairement dépourvues de fossiles; lorsqu'il y a des coquilles, elles appartiennent à des espèces qui vivent encore dans les mers du Nord; la moitié sont identiques avec celles que nous avons déjà trouvées dans le *drift* d'Europe à 10° de latitude plus loin vers le nord.

La faune de l'époque glaciaire est aussi moins riche en espèces que la faune actuelle de la mer adjacente, soit du golfe de Saint-Laurent, des rivages du Maine, ou de la baie de Massachusetts. A son extrémité méridionale, cependant, le *drift* se rapproche de celui du sud de l'Irlande et passe à une faune plus méridionale; on en trouve un exemple à Brooklyn près New-York, 41° de latitude Nord, où, suivant MM. Redfield et Desor, la *Venus mercenaria* et d'autres espèces méridionales commencent à paraître à l'état fossile.

L'extension des erratiques américains pendant la période Pliocène, à des latitudes plus basses que celles auxquelles ils parviennent en Europe, concorde bien avec l'inflexion actuelle vers le sud des lignes isothermes, ou plutôt des lignes d'égale température en hiver. Il semble qu'autrefois comme aujourd'hui il a dû exister, du côté occidental de l'Atlantique, un climat plus extrême et une abondance plus grande de glaces flottantes.

Il nous reste à signaler une dernière analogie dans la distribution des fossiles du terrain de transport en Europe et dans le nord de l'Amérique : comme en Norwége, en Suède et en Écosse, on rencontre au Canada et aux États-Unis les coquilles marines à de très petites élévations, 30 à 200 mètres

au-dessus de la mer, tandis que les blocs erratiques et les surfaces de roches sillonnées et polies atteignent des hauteurs de plusieurs milliers de mètres.

J'ai décrit en 1839 les coquilles fossiles recueillies par le capitaine Bayfield dans les couches du *drift*, à Beauport près Quebec, à une latitude de 47°, et j'ai conclu de leur examen qu'elles indiquent un climat plus septentrional ; elles se rapportent en grande partie à celles d'Uddevalla en Suède (1). Les lits coquilliers s'élèvent à Beauport et dans le voisinage à une hauteur de 60 à 120 mètres au-dessus de la mer, et l'on rencontre dans quelques-uns de gros blocs de granit qui n'ont point dû être apportés par un courant violent, car les coquilles très fragiles qui les accompagnent sont presque entières. Ces blocs, dit le capitaine Bayfield, semblent avoir été abandonnés par la glace au moment de la fonte, phénomène qui se renouvelle encore chaque année dans le Saint-Laurent (2). J'ai visité cette localité en 1842, et j'ai tracé la coupe suivante (fig. 123),

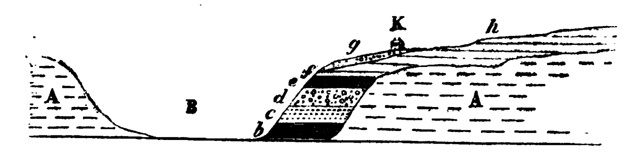


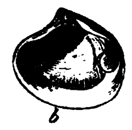
FIG. 123. — K. Maison de M. Ryland. — *h*. Argile et sable des hauteurs, avec *Saxicava*, etc. — *g*. Gravier avec blocs de transport. — *f*. Amas de *Saxicava rugosa*, de 3m,50 environ d'épaisseur. — *e*. Sable et limon avec *Mya truncata*, *Scalaria groenlandica*, etc. — *d*. Terrain de transport avec blocs de Syénite, etc. — *c*. Sable jaune. — *b*. Argile feuilletée, de 7m,50 environ. — A. Couches silariennes inférieures, horizontales. — B. Vallée creusée à nouveau.

afin de donner une idée de la position générale du *drift* dans le Canada et les États-Unis. Je présume que la vallée entière B a été jadis remplie par les couches *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, déposées en cet endroit pendant une période d'abaissement, et que la contrée plus élevée *h* a été postérieurement submergée et

(1) *Geol. Trans.*, 2e série, vol. VI, p. 135. — M. Smith, de Jordanhill, est arrivé à de semblables conclusions sur le climat, d'après les coquilles des dépôts du Pleistocène écossais.

(2) *Proceed. of Geol. Soc.*, n° 63, p. 119.

recouverte de transport. L'excavation à nouveau et partielle B a eu lieu après que la région eût repris son niveau actuel au-dessus de la mer. Les vingt-trois espèces de coquilles fossiles que j'ai recueillies dans ces lits sont toutes septentrionales et récentes, à l'exception d'une seule qui est inconnue comme vivante, et qui représente peut-être une espèce éteinte (fig. 124). J'ai examiné plus loin la même formation dans les faubourgs de Montréal; quelques-uns





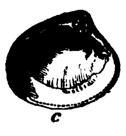


FIG. 124. — *Astarte Laurentiana.*
a. Extérieur. — b. Intérieur de la valve droite. — c. Valve gauche.

des lits de limon y sont remplis de *Mytilus edulis*, ou moule commune d'Europe, dont la coquille a conservé ses valves et sa couleur pourpre. Ce dépôt, qui contient la *Saxicava rugosa* et d'autres coquilles marines caractéristiques, se retrouve encore sur un point élevé de la montagne de Montréal, à 137 mètres au-dessus du niveau de la mer (1).

Dans ma description du Canada et des États-Unis, publiée en 1845, j'ai émis cette opinion, que pour expliquer la position des erratiques et les surfaces polies de certaines roches, ainsi que leurs stries et cannelures, il fallait d'abord admettre un abaissement graduel de la terre dans le nord de l'Amérique, à une époque où cette contrée présentait déjà sa configuration actuelle de montagnes et de vallées, d'escarpements et de ravins, puis ensuite un nouvel exhaussement de la même terre au-dessus de l'Océan. Pendant la période de lent abaissement, la mer qui bordait le continent était couverte d'îles de glaces flottantes arrivant du Nord, et celles-ci, à mesure qu'elles avançaient le long de la côte et sur les bas-fonds, poussaient devant elles des matières meubles, du sable, des cailloux, qu'elles répandaient sur le fond. Cette

(1) *Travels in North America*, vol. II, p. 141.

action continue faisait disparaître les parties anguleuses ou saillantes, et des fragments de pierre dure enchâssés à la face inférieure de la glace creusaient des sillons dans la roche solide sous-jacente ; la rive en pente ainsi que le lit de l'Océan étaient polis et sillonnés par le même mécanisme. Nul cours d'eau, quelque violent qu'on le suppose, ou quelque grande que fût l'accumulation de détritus et la dimension des fragments de roches entraînés par lui, n'aurait pu produire des sillons aussi longs, aussi droits et aussi parallèles que ceux que l'on voit partout aujourd'hui dans le district du Niagara, et généralement dans toute la contrée nord du 40e parallèle de latitude (1).

En faveur de l'hypothèse d'un abaissement lent et graduel du sol, on peut citer ce fait que presque partout dans le nord de l'Amérique et dans l'Europe septentrionale, la formation de transport repose sur des roches dont la surface est polie et sillonnée, fait qui ne nous oblige aucunement à admettre que la production du poli et des sillons ait précédé le transport des erratiques. Pendant l'abaissement successif des hautes terres qui s'élevaient primitivement de 300 à 900 mètres au-dessus du niveau de la mer, chaque portion de la surface descendit à son tour au niveau de l'Océan, de manière à devenir d'abord une ligne de côte et ensuite un bas-fond; enfin, après avoir été rayée d'année en année par le frottement des grandes masses de glaces côtières et des glaces flottantes accidentelles, chacune de ces portions a baissé jusqu'à une profondeur de plusieurs centaines de mètres. Par suite de l'abaissement continu de la terre, la côte s'est éloignée de plus en plus des zones de roches polies et striées qui s'étaient successivement formées; chaque zone extérieure est devenue à son tour assez profonde au-dessous de l'eau pour ne plus être atteinte par les plus grosses glaces flottantes; ces surfaces abaissées n'ont plus servi que de réceptacle à la boue, au sable, aux blocs tombés par la fonte

(1) *Travels in North America*, vol. II, chap. XIX, p. 99.

des glaces, et leur profondeur les a peut-être rendues inhabitables pour les testacés et les zoophytes. Toutefois, pendant que cette masse dépourvue de stratification et de fossiles se déposait au sein des eaux profondes, la production du poli et des stries sur les bas-fonds et les berges dut continuer activement tout le long de la côte. Lorsqu'enfin, l'abaissement vint à cesser, et que le mouvement de la croûte terrestre prit une direction contraire, la surface couverte de *drift* recommença lentement à s'élever pour passer à l'état de terre ferme. Le dépôt de transport dut, par conséquent, avant l'émersion et pendant un certain temps, être soumis à l'action des vagues, du flux et du reflux ainsi que des courants, et, dans sa portion supérieure partiellement dérangée, les matières prirent nécessairement de nouvelles positions et se stratifièrent. Sur quelques points aussi, des cours d'eau arrivant des terres ont entraîné sur le *till* des couches de sédiment. Dans ce cas, l'ordre de superposition aura été celui-ci : en premier lieu et comme dépôt supérieur, du sable, du limon et un gravier accidentellement fossilifères ; en second lieu une masse stratifiée et non fossilifère, appelée *till*, en grande partie plus ancienne que le dépôt précédent, et contenant des erratiques anguleux ou des blocs disséminés çà et là ; en troisième lieu, au-dessous du tout, des roches à surface polie et striée.

Une succession d'événements analogues paraît s'être produite sur une très vaste échelle des deux côtés de l'Atlantique : les blocs ont été transportés généralement du pôle nord vers le sud ; mais, dans certains cas, des chaînes de montagnes ont constitué des centres indépendants de dispersion, et les Alpes en montrent le plus remarquable exemple.

Il n'est pas rare de rencontrer dans le *drift* des blocs de transport aplatis sur un ou plusieurs de leurs côtés, et dont la surface est en même temps polie, sillonnée et striée. Ces blocs ont dû revêtir leur forme actuelle dans un glacier, avant d'arriver à la mer, ou bien lorsque, fixés à la face inférieure d'une glace flottante, ils cheminaient sur le fond de

l'eau. Nous savons par M. Charles Martins que les glaciers du Spitzberg avancent de la côte dans la mer à une profondeur de 30 à 120 mètres, et qu'on voit un grand nombre de blocs ou galets striés se dégager des masses de glaces et tomber au fond de l'eau à mesure qu'elles fondent (1).

Il ne faut pas nous étonner si ces galets présentent encore ces marques lorsqu'on les trouve reportés au-dessus du niveau de la mer, car nous savons que les ondulations du sable et les fentes de l'argile desséchée dans l'intervalle des basses et hautes marées, que les traces de pas d'animaux, que celles des gouttes de pluie laissées sur le limon, et toutes les autres empreintes superficielles se rencontrent à l'état fossile dans les roches des différents âges.

D'un autre côté, il n'est pas difficile de se rendre compte de l'absence dans les dépôts glaciaires, de cailloux striés et rayés, et de blocs de transport; ces dépôts ont pu se trouver exposés à l'action des eaux sur une côte en voie d'abaissement ou d'exhaussement près de la mer. Jamais les galets n'offrent de telles stries sur une plage marine ordinaire, et, à une très petite distance du pied d'un glacier, à quelques centaines de mètres seulement, les pierres contenues dans le lit des torrents formés par la fonte des glaces ont déjà perdu leurs traces glaciaires aussitôt qu'elles ont été transportées.

Le manque habituel de coquilles fossiles dans les argiles glaciaires, malgré l'aptitude de celles-ci à conserver les débris organiques, pourrait peut-être s'expliquer par l'absence de testacés dans une mer profonde où s'opère tranquillement l'accumulation des blocs déposés par la fonte des glaces côtières et des glaces flottantes. Dans la mer Égée et dans d'autres parties de la Méditerranée, le zéro de la vie animale, suivant le professeur E. Forbes, est à la profondeur de 550 mètres. Dans les mers tropicales, il descend beaucoup plus bas, de même que la végétation se prolonge beaucoup

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, t. IV, 2e série, p. 1121.

plus haut sur les montagnes des contrées chaudes. Réciproquement, près du pôle, le zéro est beaucoup moins haut sur les montagnes et moins bas dans la mer. Si l'Océan eût été rempli de montagnes flottantes, et si une température basse eût régné dans l'hémisphère septentrional pendant la période glaciaire, les parties même les moins profondes de la mer eussent été inhabitables, ou peuplées seulement d'un petit nombre d'êtres vivants. Il faut aussi remarquer que la fonte de la glace, dans certains fiords de Norwége, refroidit l'eau au point de détruire la vie animale ; des famines ont été occasionnées en Islande par des glaces flottantes provenant de la côte du Groënland, et qui s'étaient échouées sur les terres ; la fonte de ces glaces avait exigé plusieurs années, et non-seulement compromis la récolte par le refroidissement de l'atmosphère, mais encore chassé le poisson de la côte en abaissant la température des eaux de la mer.

Si l'on suppose trois époques dans la période glaciaire : celle pendant laquelle le froid augmenta lentement, celle où il atteignit sa plus grande intensité, et celle où il diminua de nouveau graduellement, on trouve le terrain de transport formé pendant la première et la dernière époque moins chargé de débris organiques que celui de l'époque du froid le plus intense. On peut également s'attendre à rencontrer le long des limites méridionales du *drift*, pendant toute la période glaciaire, une association intime de matières transportées, d'origine septentrionale, avec des sédiments fossilifères marins ou d'eau douce, appartenant aux mers, rivières et continents plus méridionaux.

Qu'aux États-Unis, l'apparition du *Mastodon giganteus* ait été postérieure à la période du *drift*, c'est un fait qui ne souffre aucun doute, car on rencontre des squelettes entiers de cet animal dans les marais et les dépôts lacustres qui occupent les cavités de ce terrain. On trouve même quelquefois ces pachydermes éteints au fond de petits étangs que l'agriculteur met à sec pour la recherche de la marne coquil-

lère. J'ai eu l'occasion d'examiner à Geneseo, dans l'État de New-York, un gisement de ce genre ; on avait extrait d'une marnière située au-dessous d'un lit de terre noire et tourbeuse, des ossements, un crâne et une défense de mastodonte ; toutes les coquilles qui accompagnaient ces débris étaient terrestres ou d'eau douce, et analogues à celles encore communes à l'état vivant dans le même district : c'étaient plusieurs *Limnœa*, *Planorbis bicarinatus*, *Physa heterostropha*, etc.

En 1845, six squelettes de la même espèce de mastodonte furent découverts dans le comté de Warren (New-Jersey), à 2 mètres au-dessous de la surface du sol, par un fermier qui exploitait le riche limon d'un petit étang desséché. Cinq de ces squelettes étaient ensemble, et une grande partie de leurs ossements tombaient en morceaux dès qu'on les exposait à l'air ; mais le sixième, enfoui à 3 mètres environ des autres, se trouva conservé presque intégralement ; il avait vingt côtes comme notre éléphant actuel, ce qui prouve la justesse des vues de Cuvier relativement à cet animal éteint. De l'argile qui remplissait l'espace compris entre les côtes, juste à l'endroit où l'on devait soupçonner la place de l'estomac, on put extraire jusqu'à 70 litres de matière végétale. Soumise à l'examen microscopique par M. Henfrey de Londres, cette matière lui a paru consister en débris de petits bourgeons d'un conifère de la famille des cyprès, probablement d'un cèdre blanc (*Thuia occidentalis*), propre aujourd'hui à l'Amérique septentrionale, et dont le mastodonte éteint s'était nourri.

Un autre échantillon du même quadrupède, le plus complet et le plus grand probablement que l'on ait encore trouvé, fut exhumé en 1845, dans la ville de Newburg (New-York) ; la longueur du squelette était de $7^m,50$, et la hauteur de $3^m,70$. L'ankylose des deux dernières côtes du côté droit fournit au docteur John C. Warren un bon moyen pour apprécier l'espace qu'avait dû occuper la substance intervertébrale, et il en put ainsi calculer exactement la longueur. Les défenses,

au moment où elles furent déterrées, avaient 3 mètres de long ; mais on ne put en conserver qu'une partie. La quantité de matière animale que contiennent les défenses, les dents et les ossements de certains de ces mammifères fossiles est vraiment extraordinaire : d'après les analyses du docteur Jackson, elle s'élève parfois à 27 pour 100 ; de telle sorte que quand on a retiré par les acides tous les éléments minéraux, la forme des débris osseux demeure aussi intacte, et la masse de la matière animale aussi solide que dans des os récents soumis au même traitement.

Ces faits ne nous donnent pourtant pas le droit de conclure que ces quadrupèdes ont été enfouis à une époque moderne, à moins que l'on ne prenne ce mot *moderne* dans un sens strictement géologique ; car j'ai fait voir qu'il existe dans la vallée du Niagara un dépôt fluviatile contenant des coquilles des genres *Melania*, *Limnæa*, *Planorbis*, *Valvata*, *Cyclas*, *Unio*, *Helix*, etc., toutes d'espèces récentes, d'où l'on a extrait les ossements du grand mastodonte parfaitement conservés ; et cependant l'excavation totale du ravin sur une longueur de plusieurs kilomètres au-dessus des Chutes, s'est effectuée lentement depuis que le dépôt fluviatile a été formé.

J'ai pu me tromper en plus ou en moins lorsque j'ai assigné une période de plus de 30,000 ans à la retraite des Chutes, à partir de Queenstown jusqu'à leur place actuelle ; mais personne ne saurait douter qu'un nombre considérable de siècles ne se soit écoulé avant qu'ait eu lieu la série de changements géographiques que l'on peut admettre depuis l'enfouissement de ce quadrupède voisin des éléphants. Le gravier d'eau douce où l'on rencontre ses débris est incontestablement d'origine beaucoup plus récente que le *drift* ou argile de transport de ce pays (1).

D'autres animaux éteints accompagnent le *Mastodon giganteus* dans les formations post-glaciaires des États-Unis ;

(1) *Travels in North America*, vol. I, chap. II, et *Principes de géologie*, chap. XIV.

parmi ces animaux on cite le *Castoroïdes Ohioensis*, Foster et Wyman, grand rongeur voisin du castor, et le *Capybara*. Mais on ne sait pas encore si le *loess* et les autres couches marines et d'eau douce des États du Sud, dans lesquelles les squelettes du même mastodonte sont mêlés avec les ossements du Mégathérium, du Mylodon et du Mégalonyx, datent de la même époque que le *drift*, ou se formèrent postérieurement. Cependant, d'après ce que nous connaissons des fossiles tertiaires d'Europe, — et je pense que la même interprétation peut s'appliquer au nord de l'Amérique, — il est probable que plusieurs espèces de testacés qui existaient avant l'époque glaciaire ont survécu à cette époque. Comme exemples européens je citerai, parmi les quadrupèdes à sang chaud, l'*Elephas primigenius* et le *Rhinoceros tichorhinus*. Quant aux coquilles d'eau douce, terrestres ou marines, il est inutile de les énumérer ici; j'en parlerai plus loin en décrivant les fossiles tertiaires pliocènes du Suffolk. Le fait est important, parce qu'il réfute l'hypothèse d'un froid de la période glaciaire tellement intense et universel, qu'il aurait anéanti tous les êtres vivants sur le globe.

Il est incontestable que le froid a été plus intense à une certaine époque qu'il ne l'est actuellement dans certaines parties de la Sibérie, de l'Europe, et du nord de l'Amérique; mais avant d'admettre l'universalité d'un climat plus rigoureux, nous devons chercher quelles furent les conditions des autres parties de l'hémisphère septentrional et celles de l'hémisphère méridional tout entier à l'époque où les erratiques de la Scandinavie, de l'Angleterre et des Alpes furent transportés à leur place actuelle. Il ne faut pas oublier qu'un grand dépôt de transport de blocs erratiques est aujourd'hui en pleine voie de formation dans l'hémisphère méridional, au sein d'une zone correspondant en latitude à la Baltique et à l'Italie du nord, à la Suisse, à la France et à l'Angleterre. Que, par l'effet d'un exhaussement, le lit inégal de l'Océan méridional passe à l'état de terre ferme, et la surface des montagnes et des vallées nous apparaîtra parsemée de fragments

de transport, les uns descendus du continent antarctique, les autres d'îles couvertes de glaciers, telles que la Géorgie du Sud, lesquelles doivent constituer aujourd'hui des centres de dispersion du *drift*, bien qu'elles soient situées dans une latitude correspondant à celle des montagnes du Cumberland, en Angleterre.

Ces phénomènes ont lieu aujourd'hui entre le 45e et le 60e parallèle de latitude Sud de la ligne, tandis que la zone correspondante en Europe est libre de glaces; mais, chose encore plus remarquable, on trouve dans l'hémisphère méridional lui-même, à 1 400 kilomètres seulement de la Géorgie du Sud, là où les neiges perpétuelles arrivent jusqu'à la mer, des terres couvertes de forêts, comme la Terre du Feu. La différence de latitude ne saurait expliquer ici la luxuriance de végétation sur un point, et son manque absolu sur un autre, et il faut bien admettre parmi les autres causes de refroidissement, ces innombrables glaces flottantes qui viennent de la zone antarctique, et abaissent, en fondant, la température des eaux de l'Océan, ainsi que celle de l'air environnant qu'elles remplissent d'épais brouillards.

Dans les *Principes de géologie*, chapitres VII et VIII, je me suis efforcé de faire ressortir la corrélation intime qui existe entre le climat et la géographie physique du globe, ainsi que la dépendance de la température moyenne annuelle non-seulement de la hauteur des terres, mais encore de leur distribution dans les hautes et basses latitudes à des époques particulières. Si, pendant de certaines périodes du passé, la terre antarctique fut moins élevée et moins étendue qu'aujourd'hui, et si le contraire arriva pour le pôle nord, les conditions des hémisphères, septentrional et méridional, durent être inverses, quant au climat, de ce qu'elles sont aujourd'hui, bien que les montagnes de la Scandinavie, de l'Écosse et de la Suisse aient pu être moins élevées qu'à présent. Mais s'il exista simultanément dans les deux régions polaires une surface considérable de continent élevé, ce concours de conditions réfrigérantes dans les deux hémisphères dut

occasionner temporairement une intensité de froid qui ne s'est jamais reproduite depuis : tel fut probablement l'état des choses pendant la période de submersion dont j'ai parlé dans ce chapitre.

Erratiques des Alpes. — Bien que les régions arctiques constituent le centre principal de dispersion des blocs erratiques, on a vu que d'autres montagnes, celles de la Galles du Nord et des Alpes par exemple, avaient été des centres indépendants et séparés. Sous ce rapport, les Alpes attirent particulièrement l'attention, non-seulement à cause de leur développement grandiose, mais encore parce qu'elles sont situées au delà des limites ordinaires du *drift* septentrional de l'Europe, entre les 44e et 47e degrés de latitude Nord. Sur leurs flancs, et sur la chaîne des collines subappennines ou sur les plaines environnantes, le phénomène dont il a déjà été question bien souvent comme caractérisant ou accompagnant le terrain de transport entre les 50e et 70e parallèles de latitude Nord, reparaît tout d'un coup sous sa forme la plus saisissante. Des points les plus élevés des Alpes, du Mont-Blanc et du Mont-Rose par exemple, sont partis les blocs erratiques les plus considérables, et ces blocs sont descendus jusque dans les provinces adjacentes de France, de Suisse, d'Autriche et d'Italie, tandis que, dans les districts où la grande chaîne diminue de hauteur, comme en Carinthie, en Carniole et ailleurs, c'est à peine si l'on trouve quelques menus fragments détachés et transportés à distance.

En 1821, M. Venetz a le premier émis l'opinion que les glaciers des Alpes s'étaient jadis étendus bien au delà de leurs limites actuelles ; ses arguments furent plus tard confirmés par les observations de M. Charpentier. Ce savant déclara, en 1836, que, d'après sa conviction, les glaciers des Alpes s'étaient jadis prolongés jusqu'au Jura, et qu'ils y avaient porté leurs moraines à travers la grande vallée de la Suisse. En 1840, M. Agassiz, après maintes excursions faites dans les Alpes en société de M. Charpentier,

et une étude approfondie des glaciers pendant plusieurs années, en publia une admirable description, et fournit des témoignages qui attestent l'action primitive de grandes masses de glace sur toute l'étendue des Alpes et de la contrée environnante (1). Il fit ressortir que la surface de tous les grands glaciers est parsemée de gravier et de pierres détachées des escarpements environnants par le froid, la pluie, la foudre ou les avalanches. Il décrivit avec plus de soin que ses prédécesseurs ces longs alignements de débris que l'on remarque sur les côtés du glacier, et que l'on appelle *moraines latérales*, tandis que ceux qui occupent la limite inférieure du glacier ont reçu le nom de *moraines terminales*. Chaque glacier, dans ses mouvements progressifs ou rétrogrades, pousse en avant ou laisse en arrière de semblables blocs et amas terreux. Lorsqu'un glacier alpin atteint un point inférieur et plus chaud, à 1000 ou 1200 mètres au-dessus de la mer, il fond si rapidement, que, malgré le mouvement de haut en bas de sa masse, il ne peut plus avancer. Ses limites précises varient d'année en année, et plus sensiblement encore de siècle en siècle. On cite l'exemple d'une retraite de 700 mètres en une seule année. Nous savons aussi, d'après M. Venetz, qu'entre les XIe et XVe siècles, tous les glaciers des Alpes avançaient moins qu'aujourd'hui, mais qu'à partir des XVIIe et XVIIIe, ils commencèrent à progresser, de telle sorte qu'ils ont intercepté d'anciennes routes et recouvert des forêts.

Ces oscillations permettent au géologue de suivre les traces laissées par la retraite des glaciers, et parmi lesquelles les plus saillantes sont les moraines terminales, ou remparts de terre et de pierres non stratifiés, que les inondations subséquentes ont souvent partagés en monticules qui croisent la vallée comme d'anciens ouvrages ou terrassements destinés au barrage d'une rivière. Ces barrières transversales ont été, pour la première fois, signalées par de

(1) Agassiz, *Études sur les glaciers*, et *Système glaciaire*.

Saussure, au-dessous du glacier du Rhône, comme preuve de l'extension primitive du glacier. Sur ces moraines, on voit de gros blocs anguleux qui, transportés à la surface du glacier, n'ont pas été entamés sur leurs bords par le frottement; la plupart toutefois, et même les plus considérables, ont été arrondis, non par le pouvoir de l'eau, mais par la force mécanique de la glace qui les a poussés les uns contre les autres ou contre les roches qui encaissaient les vallées. D'autres, tombant dans les nombreuses fissures du glacier, et s'y trouvant soumis à la pression de la masse entière, ont été réduits en fragments arrondis, ou même en sable et en vase fine, éléments qui entrent pour une large part dans la constitution des moraines.

Si les moraines terminales sont les monuments les plus remarquables laissés par la retraite d'un glacier, ce sont aussi les plus sujets à la destruction, et de violentes inondations ou débâcles sont souvent occasionnées dans les Alpes par l'irruption subite de ce qu'on appelle des lacs glaciaires. Ces nappes d'eau accidentelles sont dues au barrage d'une rivière par un glacier qui, après avoir augmenté pendant une succession de saisons froides, est descendu d'une vallée tributaire dans la vallée principale, et l'a occupée d'un versant à l'autre. Lorsque cette barrière de glace vient à se rompre, les eaux accumulées se répandent, entraînent ou nivellent une portion considérable du rempart transversal de blocs et de gravier, et disséminent les matériaux sur la plaine de la rivière en lits confus et irréguliers.

Les surfaces polies, striées et sillonnées des roches, nous fournissent une nouvelle preuve de l'action primitive des glaciers sur des points qu'ils n'atteignent plus aujourd'hui. Des pierres enchâssées dans la partie inférieure du glacier suivent lentement le mouvement insensible de la masse; elles usent, sillonnent et polissent la roche sous-jacente, en même temps que les plus gros blocs sont eux-mêmes sillonnés et polis par ce contact. Comme les forces de pression et de propulsion sont énormes, le sable, agissant à la manière de

l'émeri, unit la surface, tandis que les cailloux la fouillent comme le ferait un burin, et que les grosses pierres y creusent des sillons.

Après le passage du glacier, les roches proéminentes sont usées en forme de mamelons arrondis; on leur a donné le nom de *roches moutonnées.* C'est là un résultat de l'action glaciaire dont nous n'avions pas encore parlé.

Bien que la surface de toutes les roches se dégrade et se décompose sous l'influence de l'air, il en est qui conservent presque indéfiniment leur poli et leurs sillons, et, pour peu qu'elles soient protégées par une enveloppe de terre ou de gazon, ces marques de frottement paraissent susceptibles d'une durée éternelle. On en a observé dans les Alpes, à de grandes hauteurs au-dessus des glaciers actuels, et à de grandes distances horizontales de ces glaciers.

Sur les versants des vallées suisses, on rencontre aussi des creux arrondis, profonds, à parois polies, semblables à ceux que des chutes d'eau produisent dans une roche solide, mais qui se trouvent loin de tout cours d'eau et sur des points où l'on ne saurait supposer qu'aucune cascade ait jamais existé. Ces cavités sont communes dans les roches dures, telles que le gneiss en Suède; on les appelle *marmites de géants*, et elles atteignent quelquefois 3 mètres et plus de profondeur. Dans les Alpes et le Jura, elles passent souvent à l'état de poches et de gouttières prolongées. D'après M. Agassiz, des trous analogues sont produits actuellement par des cours d'eau qui, après avoir coulé à la surface d'un glacier, tombent dans quelque fissure, sous forme de cascades. L'eau, par sa chute, entraîne le gravier et le sable à un mouvement de rotation sur le fond et creuse un trou rond dans la roche; mais comme la cascade avance en même temps que le glacier, telle cavité qui serait restée un trou circulaire devient un sillon profond. La forme du fond rocheux sur lequel se meut le glacier détermine les fissures de la glace, et par suite, le renouvellement annuel de cascades incessamment reproduites sur les mêmes points.

Un autre effet d'un glacier est la formation d'un amas circulaire de pierres autour de la cime d'un pic conique faisant saillie au travers de la glace; quand la fonte fait baisser le niveau du glacier, ces cercles de gros fragments anguleux nommés *blocs perchés*, restent dans une position singulière au sommet d'un piton escarpé, tandis que les parties inférieures sont parfois dépourvues de blocs de transport.

Blocs alpins sur le Jura. — Les moraines, les erratiques, les surfaces polies, les dômes, les stries, les marmites de géants, les roches perchées, toutes ces traces se rencontrent aujourd'hui dans les Alpes, à de grandes hauteurs au-dessus des glaciers, et à des distances considérables de leur limite inférieure; on les retrouve sur une largeur de 80 kilomètres dans la grande vallée suisse, et presque partout sur le Jura, chaîne qui court au nord de cette vallée, et dont les cimes, aujourd'hui complétement dépourvues de glaciers, atteignent à peine le tiers de la hauteur des Alpes.

Les erratiques qui couvrent le Jura ont, pendant plus d'un demi-siècle, embarrassé les géologues. En voici l'explication la plus plausible : ces blocs de granit, de gneiss et d'autres formations cristallines, disséminés aujourd'hui sur des montagnes et des vallées composées de calcaire et d'autres formations tout à fait distinctes de celles des Alpes, seraient cependant originaires de cette dernière chaîne, et auraient franchi un espace de plus de 80 kilomètres, traversant une des plus larges et des plus profondes vallées du globle. On s'étonne qu'après un si long voyage ils aient conservé leur volume et leur forme anguleuse; plusieurs sont gros comme des maisons, et l'un d'eux, en particulier, célèbre sous le nom de *Pierre à Bot*, posé sur le versant d'une montagne, à 274 mètres environ du lac de Neuchâtel, ne mesure pas moins de 12 mètres de diamètre.

On remarquera que ces blocs ont été transportés du sud au nord, et offrent ainsi une exception à la règle applicable aux erratiques en général. Quelques-unes des plus grosses masses de granit et de gneiss contiennent jusqu'à 2 000 mè-

tres de pierre, et un bloc de calcaire, à Devens près de Bex, transporté à 48 kilomètres, présente 6000 mètres cubes de matière, et cependant ses arêtes ont conservé toute leur netteté (1).

D'après l'examen de la composition minérale de ces blocs, de Buch, Escher et Studer ont conclu que ceux du Jura occidental, au voisinage de Neuchatel, sont venus de la région du Mont-Blanc et du Valais; ceux des parties moyennes du Jura, de l'Oberland bernois; ceux enfin du Jura oriental, des Alpes, des petits cantons de Glaris, de Schwytz, d'Ury et de Zug. Les blocs de ces trois grands districts ont donc été fournis par les parties des Alpes les plus rapprochées des localités du Jura où on les rencontre aujourd'hui, comme s'ils avaient traversé la grande vallée perpendiculairement à sa longueur: la direction la plus occidentale a suivi le cours du Rhône, la direction centrale le cours de l'Aar, et la plus orientale celui des deux grandes rivières, la Reuss et la Limmat. L'absence de mélange qu'on remarque partout dans ces trois groupes de blocs transportés, excepté près de leurs limites, a toujours semblé très énigmatique à ceux qui croyaient avec de Saussure que ces blocs avaient suivi dans sa course un torrent d'eau boueuse descendu des Alpes. Le premier, M. Charpentier soutint que les glaciers de la Suisse s'étaient jadis étendus sans interruption jusqu'au Jura et qu'ils avaient transporté les erratiques sur ces montagnes; mais, en même temps, il émit l'opinion que les Alpes avaient été autrefois plus élevées qu'aujourd'hui. De son côté, M. Agassiz, au lieu de reconnaître des glaciers distincts et séparés, imagina que la vallée entière de la Suisse avait été remplie de glace, et qu'une vaste nappe glaciaire s'était étendue des Alpes au Jura à une époque où les deux chaînes présentaient déjà la hauteur relative qu'elles ont de nos jours. Une telle hypothèse se heurte contre cette difficulté que la différence d'altitude, lorsqu'elle est étendue

(1) D'Archiac, *Hist. des progrès*, etc., vol. II, p. 249.

sur un espace de 80 kilomètres, donne une pente qui ne dépasse pas 2 degrés, c'est-à-dire une pente inférieure à celle de tout glacier connu. Elle a reçu toutefois le puissant appui du professeur James Forbes dans l'excellent ouvrage qu'il a publié sur les Alpes, en 1843.

Dans la théorie que j'ai adoptée dès le principe, d'accord avec M. Darwin (1), j'ai supposé que les erratiques avaient été transportés par la glace flottante jusqu'au Jura, lorsque la plus grande partie de cette chaîne et la totalité de la vallée Suisse vers le Sud étaient sous la mer. A cette époque, les Alpes pouvaient n'avoir que la moitié de leur hauteur actuelle, et constituer cependant une chaîne aussi élevée que les Andes Chiliennes, lesquelles, à une latitude correspondant à celle de la Suisse, envoient aujourd'hui à l'entrée de chaque détroit des glaciers d'où partent des glaces flottantes couvertes de blocs de granit (2). A l'opposé de cette partie du Chili où les glaciers abondent, est située l'île de Chiloé, parallèle au continent, et dont l'étendue est de 100 kilomètres de long sur 48 kilomètres de large. Le canal qui la sépare du continent a une profondeur considérable et une largeur de 40 kilomètres. Une partie de sa surface, de même que la côte adjacente du Chili, contient des coquilles marines récentes, preuve incontestable d'un exhaussement de la terre à une époque très moderne; au-dessous de ces coquilles est un dépôt de transport dans lequel M. Darwin a trouvé de gros blocs. Un des groupes de débris est formé de granit venu évidemment des Andes, tandis que, sur d'autres points, gisent des blocs anguleux de syénite. La disposition de ces roches doit être attribuée à l'arrivée des glaces flottantes sorties des différents détroits vers lesquels des glaciers descendaient des Andes. Ces glaces flottantes, partant annuellement de points différents, seraient venues échouer, par groupes distincts, dans les baies ou cri-

(1) Voyez *Éléments de géologie*, 2e édit., 1841.
(2) *Darwin's Journal*, p. 283.

ques de Chiloé ou dans les petites îles près de la côte, déposant ainsi sur les montagnes et dans les vallées des blocs qui auront apparu plus tard avec l'exhaussement du lit de la mer adjacente. Une continuation du mouvement ascensionnel, dans cette région des Andes et de Chiloé, a pu donner à la chaîne des Andes une hauteur égale à celle des Alpes, et à Chiloé une hauteur égale à celle du Jura. Le même exhaussement aura mis à sec le canal qui sépare Chiloé et le continent, de manière à reproduire la grande vallée de la Suisse. Pendant le cours de ces changements, Chiloé et le détroit qui lui appartient, étant à leur tour devenus une plage marine, auront été polis et rayés par les glaces côtières et par les innombrables glaces flottantes qui glissaient sur le fond.

Si l'on applique cette hypothèse à la Suisse et au Jura, on peut très bien supposer qu'en raison de l'exhaussement des terres et de l'émersion du lit de la mer, le Jura lui-même avait ses glaciers ; ceux qui existent aujourd'hui dans les Alpes, et qui d'abord s'étendaient jusqu'à la mer, purent aussi, durant une partie de la période d'exhaussement, s'avancer beaucoup plus loin dans les vallées ; et, lorsqu'en dernier lieu, le climat devint plus doux, ces glaciers disparurent entièrement du Jura et reculèrent dans les Alpes jusqu'à leurs limites actuelles, laissant derrière eux les moraines qui attestent aujourd'hui l'extension primitivement plus considérable des glaciers (1).

Météorites dans le terrain de transport. — Dans ses *Archives de Russie* pour 1841 (page 314), Erman donne le récit très circonstancié de la découverte d'une masse de fer météorique trouvée par un mineur russe dans l'alluvium aurifère de l'Altaï. On avait d'abord rencontré quelques petits

(1) Plus récemment, Sir R. Murchison, ayant visité de nouveau les Alpes, a déclaré que, dans son opinion, « les grands blocs granitiques du Mont-Blanc » avaient été transportés sur le Jura à une époque où la contrée intermédiaire » était sous les eaux. » (Mémoire lu à la *Société géologique de Londres*, 30 mai 1849.)

fragments de fer natif dans les lavages de Petropawlowsker, Cercle de Mrassker, mais, bien que cette découverte eût attiré l'attention, on supposait que ces morceaux de fer pouvaient être des débris d'outils. Plus tard, à la profondeur de $9^m,60$, les ouvriers trouvèrent une pièce de fer pesant 8 à 9 kilogrammes, d'une couleur gris d'acier, un peu plus dure que le fer ordinaire. Cette masse était du fer natif avec une petite proportion de nickel, métal qui se rencontre d'ordinaire dans les pierres météoriques. Elle était enfouie au fond d'un dépôt où le gravier reposait sur un calcaire schisteux. Une grande quantité de minerai brun de fer, ainsi que de l'or, existe dans le même gravier, qui paraît appartenir à cette formation aurifère étendue dans laquelle abondent les os de mammouth, de *Rhinoceros tichorhinus* avec d'autres quadrupèdes éteints, et qu'on hésite encore à placer dans le Post-Pliocène ou dans le Nouveau Pliocène.

Il ne faut point nous étonner si nous n'avons pas encore découvert de traces de ces sortes d'aérolithes dans les roches plus anciennes; car, outre leur rareté, ceux qui seraient tombés dans la mer (et c'est des couches marines que les géologues ont ordinairement le plus à s'occuper) étant principalement composés de fer natif, auraient subi rapidement de nouvelles combinaisons chimiques au contact du chlorure de sodium et des autres sels dont sont chargées l'eau et la vase.

Nous savons que les ancres, les canons et autres pièces de fer ouvragé qui sont restées enfouies pendant quelques centaines d'années le long de nos côtes en Angleterre, se décomposent pour former, avec le sable et le gravier, un conglomérat cimenté par l'oxyde de fer. Un fer météorique, malgré l'action préservatrice du nickel, se décomposerait incontestablement dans le cours d'un millier d'années, pour devenir oxyde, sulfure ou carbonate de fer, et cesserait bientôt d'être reconnaissable. Plus les roches sont anciennes, plus fréquemment elles ont été chauffées et refroidies, pénétrées par les gaz, les eaux de la mer, l'atmosphère ou les sources miné-

rales, et plus sont faibles les chances d'y rencontrer une masse de fer natif non altérée; cependant la conservation de l'ancien météorite de l'Altaï, et la présence du nickel dans ces corps curieux, permettent d'espérer qu'on en trouvera désormais un plus grand nombre parmi les dépôts des périodes reculées.

CHAPITRE XIII.

COUCHES DU NOUVEAU PLIOCÈNE ET DÉPÔTS DES CAVERNES.

Classification chronologique des formations Pleistocènes ; d'où viennent les difficultés que cette classification présente ? — Dépôts d'eau douce dans la vallée de la Tamise. — Dans les falaises de Norfolk. — Dans la Patagonie. — Longévité comparative des espèces, chez les mammifères et les testacés. — Crag fluvio-marin de Norwich. — Couches du Nouveau Pliocène en Sicile. Calcaire d'une épaisseur et d'une élévation considérables. — Alternance de formations marines et volcaniques.— Preuves de la lenteur d'accumulation.— Notables changements géographiques en Sicile, depuis l'apparition de la faune et de la flore actuelles. — Brèches osseuses et dépôts des cavernes — Sicile. — Kirkdale. — Origine des stalactites. — Cavernes à brèches d'Australie. — Rapports géographiques entre les provinces de vertébrés actuels et celles des espèces fossiles qui appartiennent à la période Pliocène. — Oiseaux éteints, de la famille des Autruches, dans la Nouvelle-Zélande. — Dents de quadrupèdes fossiles.

J'ai traité, dans le dernier chapitre, de la formation de transport et des couches d'eau douce et marines qui lui sont associées et appartiennent principalement à la fin de la période du Nouveau Pliocène ; je vais décrire d'autres dépôts du même âge ou presque du même âge, en observant néanmoins qu'il est difficile de tracer une ligne de démarcation bien tranchée entre ces formations modernes, surtout lorsqu'il faut comparer des dépôts d'origine marine et d'eau douce, ou ceux-ci avec les ossements contenus dans les cavernes.

Si, chaque fois que des squelettes de quadrupèdes ont été ensevelis par des inondations dans l'alluvium, enterrés dans les marais ou enfouis dans les couches lacustres, un courant de lave était venu recouvrir les dépôts d'alluvion ou d'eau douce, comme cela est arrivé fréquemment en Auvergne (voyez ci-dessus, page 130), et les préserver de tout mélange avec les couches formées postérieurement, la clas-

sification chronologique de la série entière des formations contenant des mammifères deviendrait une tâche facile, même en supposant qu'un certain nombre d'espèces fussent communes à plusieurs groupes successifs. Mais lorsqu'il s'est produit pendant plus d'une période, dans les niveaux de la terre, des oscillations accompagnées d'élargissement et d'approfondissement de vallées; lorsqu'une même surface, primitivement couverte de forêts et habitée par des quadrupèdes terrestres, a subi les envahissements de la mer, puis s'est de nouveau relevée, chaque changement déterminant une accumulation de matières sédimentaires ou bien une dénudation partielle; lorsque le transport de la glace par les courants marins et les rivières, durant une période de froid intense, a établi une différence dans le mode ordinaire de translation ou dans la distribution géographique des espèces, ce n'est plus qu'à grand'peine qu'on parvient à débrouiller la classification de ces formations Pleistocènes.

Sur plusieurs points, dans la vallée de la Tamise, on rencontre des lambeaux d'anciens dépôts fluviatiles qui diffèrent considérablement d'âge, bien que les coquilles terrestres et d'eau douce qu'ils renferment appartiennent à des espèces récentes. A Brentford, par exemple, les os du mammouth de Sibérie ou *Elephas primigenius* et du *Rhinoceros tichorhinus*, animaux dont le sol glacé de la Sibérie a conservé les chairs et les poils, se rencontrent abondamment avec les os d'une espèce d'hippopotame, ceux d'aurochs, du bœuf à courtes cornes, du daim rouge, du renne et du grand tigre ou lion des cavernes (1). On observe une association semblable à Maidstone, dans le Kent et sur d'autres points, et les espèces concordent généralement avec celles dont les ossements fossiles ont été découverts dans les cavernes d'Angleterre. Lorsqu'on voit, dans le même limon, le renne actuel et un hippopotame éteint, on se demande quelles sont les conditions climatériques qui ont permis à ces genres de

(1) Morris, *Proceed. geol. Soc.*, 1849.

coexister dans la même localité; et il faut bien admettre que partout où il y a continuité de terres, des régions polaires aux régions tempérées et aux régions équatoriales, il se trouve des points où la limite sud d'une espèce arctique rencontre la limite nord d'une espèce du sud, et que si les deux espèces ont eu des habitudes d'émigration, comme le tigre du Bengale, le bison d'Amérique, le bœuf musqué et autres, elles auront dû pénétrer fort avant dans les localités voisines. Diverses oscillations de température peuvent encore s'être manifestées pendant les périodes qui ont immédiatement précédé ou suivi le froid plus intense de la période glaciaire.

Les couches qui bordent la rive droite de la Tamise, à Grays Thurrock dans l'Essex, sont probablement plus anciennes que celles de Brentford, bien que les coquilles terrestres et d'eau douce qu'elles contiennent soient presque toutes identiques avec les espèces actuelles. Trois de ces coquilles, cependant, ne se trouvent plus dans la Grande-Bretagne; ce sont : la *Paludina marginata* (fig. 117), qui vit maintenant en France, l'*Unio littoralis* (fig. 29), qui habite aujourd'hui la Loire, et la *Cyrena consobrina* (fig. 26). Ce dernier fossile (coquille récente du Nil) est très abondant à Grays et mérite attention, car le genre *Cyrena* n'existe plus en Europe.

Le rhinocéros que l'on rencontre dans les mêmes lits (*R. leptorhinus*, fig. 136) diffère de celui de Brentford, et l'éléphant qui l'accompagne est l'*Elephas meridionalis*, variété qui, suivant MM. Owen et H. de Meyer, est la même espèce que le mammouth de Sibérie, bien que quelques naturalistes en aient fait une espèce distincte. Avec ces mammifères se trouve l'*Hippopotamus major*, et, chose remarquable dans un dépôt aussi moderne et aussi septentrional, un singe appelé par Owen *Macacus pliocenus*.

La forêt submergée dont il a déjà été question, et qui est placée inférieurement au *drift*, à la base des falaises de Norfolk, se trouve associée à un lit de lignite et de limon dans lequel on rencontre un grand nombre d'ossements

fossiles qui paraissent appartenir au même groupe que ceux de Grays. On l'a appelé quelquefois *lit à éléphants*. La partie qui s'étend sous la mer, à Appisburgh, supportait en 1820 un banc d'huîtres récentes, et les pêcheurs en retirèrent, dans le cours de trente années, en même temps que les huîtres, environ deux mille molaires de mammouth (1). Une autre portion de la même couche a fourni, à Bacton, à Cromer et en d'autres endroits de la côte, des os d'un castor gigantesque (*Trogontherium Cuvierii*, Fischer), des os de bœuf, de cheval, de daim et des deux espèces de rhinocéros, *R. tichorhinus* et *R. leptorhinus*. L'étude de ces assemblages de fossiles démontre que, lorsqu'on remonte la suite des temps, la faune mammifère diverge plus rapidement du type récent que la faune testacée.

On a déjà vu que la longévité des espèces dans la classe des quadrupèdes à sang chaud n'est pas aussi considérable que dans celle des mollusques; les animaux de cette dernière classe endurent probablement mieux les changements de climat et les diverses révolutions qui viennent, dans le cours des âges, bouleverser le monde organique. Ce phénomène, du reste, n'est point particulier à l'Europe, car M. Darwin a trouvé à Bahia Blanca, dans l'Amérique du Sud, sous une latitude de 39° S., près des confins septentrionaux de la Patagonie, des débris fossiles des genres éteints de mammifères, Megatherium, Megalonyx, Toxodon et autres, associés à des coquilles qui appartiennent presque toutes à des espèces vivant encore dans la mer contiguë (2); les mollusques marins, de même que ceux des rivières, des lacs ou des terres, auraient donc péri plus lentement que les mammifères terrestres.

J'ai déjà parlé de certaines couches marines, superposées au *till* près de Glasgow et sur d'autres points le long de la Clyde, et dans lesquelles les coquilles sont, pour la plupart, propres à l'Angleterre, avec un mélange de quelques

(1) Woodward, *Geology of Norfolk*.

(2) *Zool. of Beagle*, part. 1re, p. 9-111.

espèces arctiques; le reste, qui forme environ un dixième de la totalité, se rapporte à des espèces éteintes. Cette formation peut aussi être rangée dans le Nouveau Pliocène.

Crag fluvio-marin de Norwich. — A moins de 8 kilomètres de Norwich, sur les deux rives de la Yare, on rencontre en plusieurs endroits des lits de sable, de limon et de gravier appelés *Crag* en terme de province, mais d'un âge différent du Crag de Suffolk, et qui renferment un mélange de coquilles marines, terrestres et d'eau douce, avec des ichthyolites et des os de mammifères. Il est clair que ces lits se sont accumulés sur le fond de la mer, près de l'embouchure d'une rivière. Ils forment des lambeaux d'épaisseur variable, reposant sur la craie blanche, et ils sont recouverts par une masse épaisse et stratifiée de gravier siliceux. La surface de la craie est souvent perforée jusqu'à la profondeur de plusieurs centimètres par la *Pholas crispata*, dont chaque coquille se retrouve encore au fond de sa cavité cylindrique, maintenant remplie par un sable meuble provenant du crag placé audessus. Cette espèce de pholade existe encore et perfore les roches, entre les hautes et basses eaux, sur la côte d'Angleterre. Les coquilles les plus communes du Crag, telles que *Fusus striatus*, *Turritella terebra*, *Cardium edule* et *Cyprina Islandica*, abondent aujourd'hui dans les mers britanniques, mais à côté sont quelques espèces éteintes,

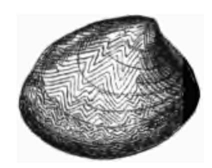



FIG. 125. — *Nucula Cobboldiæ*.

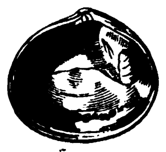
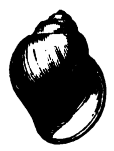




FIG. 126. — *Tellina obliqua*.

FIG. 127. — *Natica helicoïdes* (Johnston).

telles que *Nucula Cobboldiæ* (fig. 125) et *Tellina obliqua* (fig. 126). La *Natica helicoïdés* (fig. 127) fournit l'exemple d'une espèce d'abord connue seulement à l'état fossile, mais qui, depuis, a été trouvée vivante dans nos mers.

Parmi les os de mammifères qu'on y rencontre aussi, figure le *Mastodon angustidens* (1) (fig. 135), dont M. Wigham a découvert une portion de mâchoire supérieure à Postwick près de Norwich. Comme cette espèce a aussi été trouvée dans le Crag Rouge, à la fois à Sutton et à Felixstow, et qu'elle a été jusqu'à présent regardée comme caractéristique des formations plus anciennes que le Pleistocène, il est possible qu'elle ait été entraînée par les eaux du Crag Rouge dans le Crag de Norwich.

Toutefois, parmi les ossements qui ne peuvent faire l'objet d'aucune contestation, mentionnons ceux d'éléphant, de cheval, de cochon, de daim, les mâchoires et dents de campagnol (fig. 146). J'ai vu la mâchoire d'un éléphant provenant de Bramerton, près Norwich; les Serpules qui y adhéraient montraient qu'elle était restée quelque temps au fond de la mer du Crag de Norwich.

A Thorpe, près Aldborough et à Southwod (Suffolk), cette formation fluvio-marine se voit très nettement dans les falaises: elle consiste en sable, galets, limon et argile feuilletée. Quelques-unes des couches portent les traces d'un dépôt tranquille, et certaines sections mettent à découvert une épaisseur de plus de 12 mètres. Plusieurs des coquilles de mollusques lamellibranches présentent encore leurs deux valves réunies, bien que ces fossiles se trouvent mêlés avec des testacés terrestres et d'eau douce, et avec des os et dents d'éléphant, de rhinocéros, de cheval et de daim. Le capitaine Alexander, en société duquel j'ai examiné ces couches, m'a fait voir un lit riche en coquilles marines, dans lequel il avait rencontré un gros échantillon de *Fusus striatus*, rempli de sable et contenant intérieurement une dent de cheval. Parmi les coquilles d'eau douce, j'ai extrait la *Cyrena consobrina* déjà mentionnée plus haut (fig. 26).

J'avais d'abord classé le Crag de Norwich dans un Pliocène

(1) Owen, *Brit. foss. mamm.*, 271. — *Mastodon longirostris*, Kaup, voyez *ibid.*

plus ancien, d'après cette considération que plus d'un tiers des testacés fossiles étaient d'espèces éteintes; mais on a quelques raisons de croire aujourd'hui que plusieurs des coquilles rares dues à ces couches n'appartiennent pas réellement à une faune contemporaine du dépôt, mais ont été entraînées par les eaux des lits plus anciens du Crag Rouge; d'autres espèces, qu'on supposait jadis éteintes, ont été dernièrement rencontrées vivantes dans les mers Britanniques. Suivant M. Searles Wood, le nombre total des espèces marines ne dépasse pas 76, dont un dixième seulement se rapporte à des testacés éteints. Les quatorze coquilles d'eau douce qui sont associées aux précédentes paraissent toutes vivantes. M. Bean a trouvé à Bridlington (Yorkshire) des couches contenant les mêmes coquilles.

Couches du Nouveau Pliocène de Sicile. — En aucun point de l'Europe autant qu'en Sicile, les formations du Nouveau Pliocène ne paraissent s'étendre sur une surface aussi large et s'élever à des hauteurs aussi considérables. Elles couvrent presque la moitié de l'île et atteignent, près du centre, à Castrogiovanni, une élévation de 900 mètres. Elles se divisent en deux séries principales : la supérieure, calcaire; et l'inférieure, argileuse; toutes deux se montrent à Syracuse, à Girgenti et à Castrogiovanni.

Suivant Philippi, sur les cent vingt-quatre espèces qui sont fournies par les couches de la Sicile centrale, trente-cinq sont éteintes. Parmi celles qui vivent encore, cinq n'habitent plus la Méditerranée. Lorsqu'en 1828, je visitai la Sicile, j'estimai la proportion des espèces vivantes à un chiffre un peu plus élevé, parce que je confondais, avec la formation tertiaire de la Sicile centrale, les couches de la base de l'Etna et de quelques autres localités où l'on sait aujourd'hui que les fossiles s'accordent complétement avec la faune actuelle méditerranéenne.

D'après les conclusions de Philippi, la Sicile présente un passage graduel des couches qui contiennent 70 pour 100 de coquilles récentes, à celles qui n'offrent absolument que

des fossiles de cette catégorie; mais ses tableaux sont loin de justifier une généralisation aussi importante, plusieurs des localités qu'il cite n'ayant encore fourni que vingt ou trente espèces de testacés. Les couches de Sicile appartiennent probablement à la même période que le Crag de Norwich, bien qu'un géologue habitué à voir dans le nord de l'Europe les formations pleistocènes occuper des bas-fonds et rester très incohérentes dans leur texture, soit naturellement surpris de rencontrer des formations de cet âge, aussi solides, aussi pierreuses, aussi épaisses, et atteignant une élévation aussi considérable au-dessus du niveau de la mer.

La partie supérieure ou calcaire de ce groupe consiste, sur quelques points, en une pierre d'un blanc jaunâtre, semblable au calcaire grossier parisien; sur d'autres points, c'est une roche presque aussi compacte que le marbre, et dont l'épaisseur varie quelquefois de 200 à 300 mètres. On y rencontre habituellement des couches régulières, horizontales, accidentellement coupées par de profondes vallées comme celles de Sortino et de Pentalica, que percent de nombreuses cavernes. Les coquilles fossiles se présentent à tous les états de conservation, depuis celles qui présentent une partie de leur matière animale et de leur couleur, jusqu'à celles qui ne sont plus que de simples moules.

Du calcaire on passe à un grès et conglomérat, au-dessous desquels sont une argile et une marne bleue semblables à celles des collines Subapennines; on peut en extraire des coraux et des coquilles en parfait état de conservation. L'argile alterne quelquefois avec du sable jaune.

Au sud de la plaine de Catane, les couches tertiaires sont entremêlées de matières volcaniques, produites en majeure partie par des éruptions sous-marines. A l'époque où l'argile, le sable et le calcaire jaune étaient en voie de formation au fond de la mer, des volcans auraient fait éruption au-dessous des eaux, comme à l'île Graham en 1831, et ces accidents se seraient renouvelés à des intervalles successifs. Soumis à l'action des flots et des courants, les cendres et le

sable volcaniques auraient formé les couches de tuf intercalées aujourd'hui entre les lits calcaires et argileux qui contiennent les coquilles marines. On peut voir les fissures où *dykes* par lesquelles la lave s'est élevée sur certains points, près de Lentini par exemple, où se rencontre un conglomérat dans lequel j'ai observé plusieurs galets de roches volcaniques entièrement couverts de *Serpules*. Ce phénomène s'expliquerait par l'existence en cet endroit de quelques petites îles volcaniques, détruites depuis par les eaux, comme l'île Graham qui a disparu en 1831. Après avoir été roulés pendant un certain temps sur les bords de ces îles temporaires, les blocs arrondis et les galets volcaniques auraient été entraînés sur des points tranquilles de la mer, et les Serpules se seraient fixées et développées librement à leur surface; finalement le lit de galets aurait été lui-même recouvert de couches calcaires coquillières. A Vizzini, distant de quelques kilomètres au S.-O., j'ai rencontré une autre preuve du développement graduel de ces formations modernes et des longs intervalles qui ont séparé les différentes coulées de lave : un lit d'huîtres, de 6 mètres au moins d'épais-



FIG. 128. — *Caryophylla cæspitosa*, Lam. (*Cladocora stellaria*, Milne Edw. et Haime).

a. Tige avec bourgeon naissant sur le côté. — *a**. Le bourgeon précédent, grossi. — *b*. Portion de branche grossie deux fois, avec la base d'une autre branche latérale; les côtes extérieures de la branche principale apparaissent à travers les lamelles de la branche latérale. — *c*. Coupe en travers de la branche principale précédente, montrant par l'intégrité de celle-ci que la branche latérale ne naît pas d'une subdivision de l'animal. — *d*. Branche présentant une autre branche latérale à sa base, et deux jeunes coraux à sa partie supérieure. — *e*. Branche principale, avec une autre latérale pleinement développée. — *f*. Étoile terminale complète.

seur, repose sur un courant de lave basaltique ; les huîtres sont tout à fait identiques avec notre espèce comestible commune, et, sur ce lit, repose une seconde masse de lave avec tuf ou pépérino. Au milieu des mêmes formations alternantes, ignées et aqueuses, on voit près de Galieri, non loin de Vizzini, un lit horizontal épais d'environ 0m,45, et qui est entièrement composé d'un corail méditerranéen commun (*Caryophylla cæspitosa*, Lam.) (fig. 128). Les coraux ont gardé la position verticale qui leur était naturelle, et quand on les a suivis sur quelques centaines de mètres, on les retrouve, à une hauteur correspondante, sur le flanc opposé de la vallée.

On sait que les coraux sont ordinairement ramifiés, non par la division des animaux, comme le supposent quelques auteurs, mais par la fixation de jeunes individus sur d'autres individus plus âgés ; or, nous devons tenir compte de ce mode d'accroissement, car il nous permet d'apprécier le temps qui s'est écoulé pendant la construction du lit entier de corail, par celui qu'a nécessité le développement de plusieurs générations successives (1).

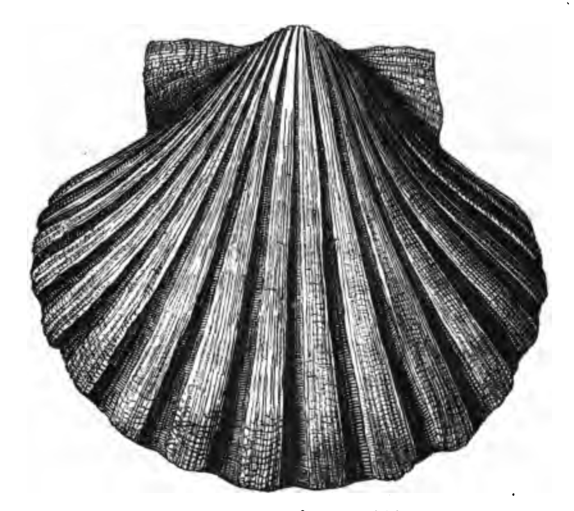


FIG. 129. — *Pecten jacobæus*, moitié grosseur.

(1) Je dois à M. Lonsdale les détails relatifs à la structure de ce corail.

Parmi les coquilles fossiles qu'on rencontre dans ces couches de Sicile, et qui abondent encore dans la Méditerranée, aucune n'est plus remarquable par sa grosseur et sa fréquence que le grand Peigne, *Pecten jacobæus* (fig. 129), aujourd'hui si commun dans les mers voisines. Nous l'avons vu en grand nombre dans le calcaire de Palerme et de Girgenti, et dans celui qui alterne avec les roches volcaniques, entre Syracuse et Vizzini, souvent à de grandes hauteurs au-dessus de la mer.

Plus nous réfléchissons à la quantité considérable de ces coquilles récentes, plus nous nous étonnons de l'épaisseur, de la solidité et de la hauteur au-dessus de la mer, des masses rocheuses dans lesquelles elles sont enfouies, et en même temps des immenses changements géographiques qui sont survenus depuis leur origine. N'oubliant pas que les couches supérieures ont été déposées sous les eaux, il nous faut, pour concevoir une idée juste de leur ancienneté, examiner séparément les innombrables particules dont se compose l'ensemble et les lits successifs de coquilles, de coraux, de cendre volcanique, de conglomérat, de coulées de lave, et calculer le temps nécessaire pour l'élévation graduelle des roches et l'excavation des vallées. Dans cette supputation, la période historique représenterait à peine une unité appréciable, car nous trouvons d'anciens temples grecs, comme ceux de Girgenti (Agrigentum), construits avec le calcaire moderne sur des collines constituées par le même calcaire, sans que l'emplacement paraisse avoir subi la plus faible altération depuis que les Grecs ont colonisé pour la première fois cette île.

L'âge récent des roches de cette région conduit à une autre conclusion singulière et inattendue, c'est que la faune et la flore d'une grande partie de la Sicile sont plus anciennes que la contrée même, et qu'elles ont précédé non-seulement l'exhaussement et l'émersion du sol actuel, mais encore la réunion au fond des eaux des matières qui les composent aujourd'hui. En effet, la plus grande partie de l'île a été con-

vertie en terre ferme à une époque où la Méditerranée était déjà peuplée de presque toutes les espèces de testacés et de zoophytes qui l'habitent actuellement. On peut donc présumer qu'avant l'émersion de cette région, les mêmes coquilles terrestres et d'eau douce, et presque tous les animaux et plantes qui peuplent la Sicile, existaient déjà, car la faune et la flore terrestre de cette île sont précisément celles des autres parties environnantes de la Méditerranée. Il ne paraît pas s'y rencontrer d'espèces particulières ou indigènes, et celles qui y sont établies aujourd'hui ont probablement émigré de terres déjà existantes, de la même manière que les plantes et animaux du territoire de Naples ont colonisé le mont Nuovo depuis l'apparition de ce cône volcanique, au XVIe siècle.

Ces conclusions jettent un nouveau jour sur la relation qui existe entre les habitudes d'émigration des animaux et des plantes et les changements qui surviennent incessamment dans la géographie physique du globe. Il est évident qu'en raison de la durée considérable de leur existence, les espèces sont destinées à survivre à plusieurs grandes révolutions dans la configuration de la surface de la terre ; et, de là, d'innombrables combinaisons qui tendent à élargir le champ de la création animale et végétale. Les habitants de la terre ferme sont souvent transportés à travers l'Océan, et les tribus aquatiques parmi les grandes espèces continentales. Il est certain que les espèces terrestres et fluviatiles n'ont point été exclusivement destinées aux rivières, vallées, plaines ou montagnes qui les reçurent au moment de leur création, mais encore à d'autres points habitables qui devaient se former avant leur extinction ; de même, les espèces marines ont été non-seulement créées pour les régions profondes ou les bas-fonds de l'Océan qui existaient au temps de leur apparition, mais aussi pour d'autres étendues d'habitat qui pouvaient être submergées ou différemment modifiées dans leurs profondeurs pendant le temps que ces espèces avaient à vivre sur le globe.

Brèches osseuses et dépôts des cavernes, de la période Pliocène. — *Sicile.* Nous avons déjà mentionné les différentes particularités que présente, au point de vue qui nous occupe, la caverne de San-Ciro près Palerme. Au fond de cette caverne, le docteur Philippi a trouvé dans le sable environ quarante-cinq coquilles marines évidemment identiques, deux ou trois exceptées, avec les espèces récentes. La partie supérieure de la brèche renferme principalement des os de mammouth (*E. primigenius*), dont quelques-uns se rapportent à un hippopotame distinct des espèces récentes et plus petit que celui qu'on trouve habituellement à l'état fossile (fig. 137). On a découvert aussi plusieurs espèces de daims, et peut-être même des débris d'ours. Ces mammifères remontent probablement à la période Post-Pliocène.

Le calcaire tertiaire Nouveau Pliocène de la Sicile est quelquefois tout percé de cavernes; les quadrupèdes dont on y rencontre les restes sont naturellement d'origine plus moderne que les roches mêmes, et doivent être rapportés à la fin de l'époque tertiaire, si ce n'est à un âge plus moderne encore. La coupe ci-dessous (fig. 130) représente la situation de l'une de ces anfractuosités dans la vallée de Sortino.

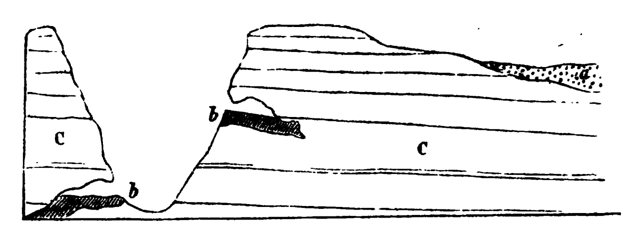


FIG. 130. — *a*. Alluvium, } contenant des restes de quadrupèdes la plupart éteints.
b, *b*. Dépôts dans les cavernes,
C. Calcaire contenant des débris de coquilles dont 70 à 80 pour 100 sont récentes.

Angleterre. — Dans la caverne de Kirkdale, à environ 40 kilomètres N.-N.-E. d'York, on a découvert les débris d'environ trois cents hyènes, appartenant à des individus de différents âges. L'espèce *Hyæna spelæa* est éteinte, et était plus grande que l'*Hyæna crocuta* de l'Afrique méridionale, bien

que celle-ci lui ressemblât beaucoup. Un examen attentif a démontré au docteur Buckland que les hyènes avaient dû vivre dans cette localité, ainsi que l'atteste la présence d'une quantité considérable de leurs excréments. On a trouvé dans cette caverne des ossements d'ours, de jeunes éléphants, d'hippopotames, de rhinocéros, de cheval, de cochon, de loup, de lièvre, de rat d'eau et de plusieurs oiseaux : tous paraissent avoir été broyés et rongés par la dent des hyènes ; on les rencontre confusément mêlés dans le limon ou la vase, ou dispersés dans la croûte de stalagmite qui les recouvre.

M. le professeur Owen cite trente-sept espèces de mammifères découvertes dans les cavernes des îles Britanniques : sur ce nombre seize paraissent éteintes, les autres subsistent en Europe. Ces mammifères n'ont point été apportés par les eaux dans les endroits où l'on rencontre aujourd'hui leurs dépouilles ; ils y ont vécu, ils y sont morts, génération par génération. A l'appui de cette conclusion, on peut mentionner les nombreux bois de daim enlevés par la mue, et qui ont été rencontrés dans les cavernes et les couches d'eau douce en Angleterre (1).

Il existe aussi des fissures dans lesquelles des animaux, entraînés par les eaux avec la matière alluviale et les fragments de roches, ont constitué, à l'aide des infiltrations stalagmitiques, une sorte de brèche osseuse. On observe fréquemment de longues suites de cavernes qui, reliées entre elles par des galeries étroites et irrégulières, suivent à travers les montagnes une direction tortueuse, et semblent avoir servi de canaux à des sources ou rivières souterraines. Plusieurs ruisseaux, en Morée, apportent aujourd'hui des os, des galets et de la boue dans des passages de cette nature. Si, plus tard, des mouvements souterrains venaient à modifier la forme de cette contrée, et si la dénudation y creusait des vallées nouvelles, certaines portions de ces mêmes canaux, mises en com-

(1) Owen, *Brit. Foss. Mam.*, XXVI, et Buckland, *Rel. Dil.*, 19, 24.

munication avec la surface, deviendraient des repaires d'animaux sauvages, des retraites dans lesquelles ils iraient mourir. En France, en Allemagne et en Belgique, quelques cavernes ont traversé ces différentes conditions et sont finalement restées ouvertes à l'air pendant une grande partie de la période tertiaire. Il est néanmoins très remarquable que, sur le continent européen, comme en Angleterre, les débris fossiles de mammifères appartiennent presque exclusivement à la faune du Nouveau Pliocène et du Post-Pliocène, et que, lorsqu'ils sont accompagnés de coquilles terrestres ou fluviatiles, celles-ci se rapportent, en grande partie sinon en totalité, aux espèces récentes.

La conservation des ossements fossiles est due à une formation lente, mais continue, de stalactites déposées par les eaux qui suintaient de la voûte des cavernes ; l'origine de ce phénomène a reçu tout récemment de l'éminent chimiste, M. Liebig, l'explication suivante. En Franconie, où le calcaire abonde dans les cavernes, le sol est fertile et la matière végétale est constamment à l'état de décomposition. Soumis à l'humidité et à l'air, ce terreau ou humus émet de l'acide carbonique dont l'eau de pluie s'imprègne, et qu'elle transporte à travers le calcaire poreux qu'elle pénètre. Lorsqu'ensuite l'excès d'acide carbonique vient à se dégager dans les cavernes, de la matière calcaire s'y dépose, et il se forme des stalactites. Ces faits semblent assigner à l'émersion du district une date très moderne, car les stalactites n'ont pu se former qu'après la mise à sec de la roche caverneuse, et les coquilles ainsi que les animaux terrestres sont généralement enfouis dans la partie inférieure du dépôt.

Cavernes à brèches d'Australie. — Les brèches ossifères ne sont pas exclusivement propres à l'Europe ; on en rencontre dans toutes les parties du globe, et celles qui ont été découvertes récemment en Australie correspondent entièrement aux brèches osseuses de la Méditerranée, dans lesquelles des fragments d'os et de roches sont fortement liés par un ciment rouge, ocreux.

Quelques-unes de ces cavernes d'Australie ont été examinées par sir T. Mitchell dans la vallée de Wellington, à environ 300 kilomètres Ouest de Sidney, sur la rivière Bell, l'une des principales sources du Macquarie, et sur le Macquarie même. Souvent ramifiées dans différentes directions, elles s'élargissent ou se resserrent, et leurs parois supérieure et inférieure sont couvertes de stalactites. Les os sont ordinairement brisés, mais ne paraissent pas avoir subi l'action des eaux. Sur quelques points ils sont enfouis dans une terre meuble; plus ordinairement ils sont renfermés dans une brèche.

Les débris de kangourou sont les plus abondants : on en compte quatre espèces. Outre les genres *Hypsiprymnus*, *Phalangista*, *Phascolomys* et *Dasyurus*, on y trouve aussi des ossements qu'on avait d'abord attribués à l'hippopotame ou au dugong, mais que M. Owen a rapportés à un genre de marsupiaux voisin du *wombat*.

Parmi ces fossiles, plusieurs espèces sont plus grandes que celles qui vivent aujourd'hui en Australie. La figure 131 représente le côté droit d'une mâchoire inférieure



FIG. 131. — *Macropus atlas*, Owen.
a. Fausse molaire permanente, dans l'alvéole.

de kangourou (*Macropus atlas*, Owen); elle fait voir de combien ses dimensions dépassaient celles de la partie correspondante du plus gros kangourou vivant, représentée figure 132. Dans ces deux échantillons, une portion de la substance de la mâchoire a été enlevée pour montrer la

fausse molaire permanente (*a*, fig. 131) cachée dans l'alvéole. La présence de cette molaire est une preuve que l'individu était jeune et n'avait point encore perdu ses premières dents.



FIG. 132. — Mâchoire inférieure de la plus grande espèce vivante de Kangourou (*Macropus major*).

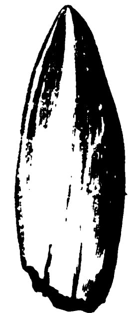


FIG. 133. Incisive de *Macropus*.

La figure 133 représente une dent de devant de la même espèce de kangourou.

Il sera impossible de décider si les brèches de Wellington Valley appartiennent rigoureusement à la période Pliocène, tant qu'on n'aura pas fait une connaissance plus complète avec les quadrupèdes récents du même district, et qu'on n'aura pas déterminé les coquilles terrestres fossiles qui peuvent se trouver ensevelies dans les dépôts des mêmes cavernes.

Tous les quadrupèdes éteints d'Australie appartiennent à la famille des marsupiaux ; en d'autres termes, ils se rapportent au même type particulier d'organisation qui distingue aujourd'hui les mammifères d'Australie de ceux des autres parties du globe. C'est là un des faits nombreux qui, par l'observation des fossiles vertébrés et invertébrés des époques immédiatement antérieures à l'homme, nous ont conduits à cette loi générale, que la distribution actuelle géographique des *formes* organiques a précédé la création des *espèces* vivantes, ou autrement dit, que la limitation des genres ou des familles de quadrupèdes, de mollusques, etc., à certaines provinces actuelles, terrestres ou aquatiques, a

commencé avant l'introduction sur la terre des espèces aujourd'hui contemporaines de l'homme.

Dans son excellente *Histoire des Mammifères fossiles d'Angleterre*, M. Owen a rappelé cette loi en remarquant combien les quadrupèdes de l'Europe et de l'Asie diffèrent de ceux de l'Australie ou de l'Amérique du Sud.

Dans la province Européo-Asiatique, au lieu de kangourous ou d'armadillos, nous trouvons, comme fossiles caractéristiques, l'éléphant, le rhinocéros, le cheval, l'ours, l'hyène, le castor, le cochon, la taupe, etc. Dans les Pampas de l'Amérique du Sud, les squelettes de Megatherium, Megalonyx, Glyptodon, Mylodon, Toxodon, Macrauchenia et autres formes éteintes, sont analogues au paresseux vivant, à l'armadillo, au cavy, au capybara, au lama. Les quadrumanes fossiles associés à quelques-unes de ces formes dans les cavernes du Brésil appartiennent à la famille des *Platyrhinæ*, famille aujourd'hui particulière à l'Amérique méridionale. L'origine toute moderne de la faune éteinte de Buénos-Ayres et du Brésil ressort de ses relations avec des dépôts de coquilles marines qui se rapportent à celles qui habitent aujourd'hui l'Atlantique ; et lors de mon voyage en Géorgie (1845), je me suis assuré que le Megatherium, le Mylodon, le *Harlanus americanus*, Owen, l'*Equus curvidens* et autres quadrupèdes alliés au type Pampéen, étaient d'âge postérieur aux couches contenant des coquilles de quarante-cinq espèces récentes de la mer voisine.

Quelques genres, il est vrai, sont cosmopolites comme le mastodonte (genre de la famille des éléphants) et le cheval, qu'on trouve représentés simultanément par différentes espèces fossiles en Europe ainsi que dans le nord et le sud de l'Amérique ; mais ces rares exceptions ne peuvent infirmer la règle que le professeur Owen a formulée de la manière suivante : Dans les classes d'animaux les plus élevées en organisation, les mêmes formes ont été, durant les périodes Pliocènes, restreintes aux mêmes grandes provinces que pendant l'époque actuelle.

Quelque moderne que soit, au point de vue géologique, l'époque Pleistocène, il est évident que des causes plus générales et plus puissantes que l'intervention de l'homme ont fait disparaître l'ancienne faune de régions aussi étendues. Plusieurs espèces étaient largement distribuées. Le Megatherium, par exemple, s'étendait de la Patagonie et de la Plata, dans l'Amérique méridionale, entre les latitudes 31° et 32° sud, jusqu'aux latitudes correspondantes de l'Amérique du Nord ; il habitait aussi la contrée intermédiaire du Brésil, car on en a trouvé des débris fossiles dans les cavernes. De même, l'éléphant éteint de Géorgie (*Elephas primigenius*) se rencontre à l'état fossile au nord, depuis la rivière Alatamaha, latitude 33° 50′ Nord, jusqu'aux régions polaires, et de nouveau dans l'hémisphère oriental, depuis la Sibérie jusqu'au midi de l'Europe. On ne saurait nous objecter que, malgré l'aptitude de ces quadrupèdes à supporter de pareilles variations de climat et de conditions géographiques, leurs colossales dimensions les exposaient à être exterminés par les premières tribus de chasseurs. Les recherches de Lund et de Clausen sur les cavernes calcaires ossifères du Brésil ont démontré que ces grands mammifères s'y trouvaient associés à des quadrupèdes aussi petits que la souris des champs, et que cependant tous sont morts ensemble, tandis que les coquilles terrestres, autrefois leurs contemporaines, ont continué d'exister dans les mêmes contrées. Or, comme nous sommes parfaitement sûrs que ces petits quadrupèdes n'ont jamais été chassés par l'homme dans un pays aussi mal peuplé que le Brésil, nous pouvons admettre que toutes les espèces, grandes et petites, ont été anéanties l'une après l'autre, durant une période de temps illimitée, par ces changements dont le monde organique et inorganique est encore aujourd'hui le théâtre, et qui modifient essentiellement la géographie physique, le climat, les conditions enfin dont dépend l'existence prolongée sur terre de tout être vivant (1).

(1) Voyez *Principes de géologie*, chap. XLI à XLIV.

La loi du rapport géographique qui existe entre les vertébrés vivants de chaque grande province zoologique et les fossiles de la période immédiatement antérieure, même lorsque ceux-ci sont d'espèces éteintes, n'est pas limitée aux mammifères. La Nouvelle-Zélande, lorsqu'elle fut explorée pour la première fois par les Européens, ne fournit aucun quadrupède terrestre indigène; seul, un oiseau dépourvu d'ailes y abondait : c'était le plus petit représentant vivant de la famille des autruches, appelé par les naturels *Xisvi* (*apteryx*). De même, l'absence de kangourous, opossums, wombats, etc., se fait remarquer dans les fossiles de la période Post-Pliocène et Pleistocène de cette île; mais, à leur place, on rencontre un nombre prodigieux d'échantillons bien conservés d'oiseaux gigantesques de la famille des autruches, *Dinornis* et *Palapteryx*, Owen, tous ensevelis dans les dépôts superficiels. Ces genres comprennent plusieurs espèces dont quelques-unes mesuraient de 1 mètre 20 centimètres à 3 mètres 50 centimètres de hauteur! Il paraît douteux que des mammifères aient pu habiter l'île en même temps que cette population de bipèdes gigantesques.

A ceux qui n'ont jamais étudié l'anatomie comparée, il

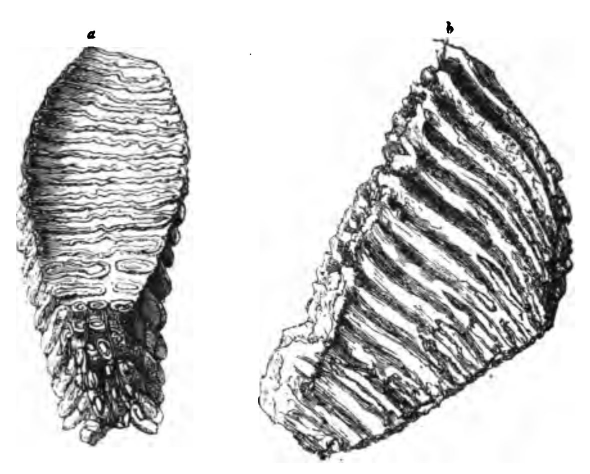


FIG. 134. — *Elephas primigenius* (Mammouth); molaire de la mâchoire supérieure, côté droit; un tiers de grandeur naturelle. — *a*. Couronne. — *b*. Face latérale.

semble difficilement admissible qu'une simple partie quelconque d'un squelette suffise à l'ostéologiste habile pour dé-



FIG. 155. — *Mastodon angustidens* (du Crag de Norwich, de Postwick, et aussi du Crag Rouge (voyez page 251); deuxième molaire vraie, côté gauche, mâchoire supérieure; couronne, de grandeur naturelle (voyez page 251).

terminer, dans nombre de cas, le genre et quelquefois même l'espèce de quadrupède auquel ce fragment a appartenu.



FIG. 156. — Rhinocéros.
Rhinoceros leptorhinus, fossile dans les couches d'eau douce de Grays, Essex (voy. page 248); molaire pénultième, mâchoire inférieure (côté gauche), deux tiers de grandeur naturelle.



FIG. 157. — Hippopotame.
Hippopotame de la caverne près Palerme (voyez page 258); dent molaire, deux tiers de grandeur naturelle.



FIG. 158. — Cochon.
Sus scrofa, Lin. (cochon commun), de la marne coquillière, Forfarshire; molaire postérieure, mâchoire inférieure; grandeur naturelle.

Bien que peu de géologues puissent prétendre à un tel degré d'habileté, fruit d'une étude assidue et d'une longue pratique, il sera néanmoins fort avantageux et relativement assez

facile d'apprendre à reconnaître, par les formes et les caractères des dents, les principales divisions de mammifères.

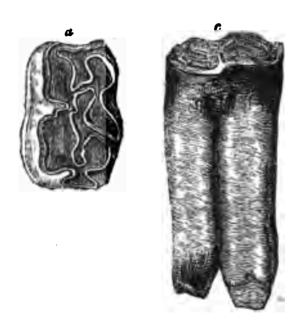


FIG. 139. — Cheval.
Equus caballus, Lin. (cheval commun); de la marne coquillière, Forfarshire; deuxième molaire, mâchoire inférieure. — *a*. Couronne, deux tiers de grandeur naturelle. — *b*. La même dent, vue de côté ; demi-grandeur naturelle.



FIG. 140. — Tapir.
Tapirus Americanus, récent ; troisième molaire, mâchoire supérieure ; grandeur naturelle.

Les figures ci-jointes (134 à 147), toutes dessinées d'après des pièces originales, aideront à classer les différents genres



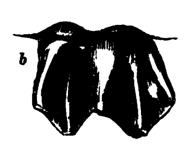




FIG. 141. — *a*, *b*. Daim.
Cervus alces, Lin., récent; molaire de la mâchoire supérieure.— *a*. Couronne. — *b*. Face latérale ; deux tiers de grandeur naturelle.

FIG. 142. — *c*, *d*. Bœuf.
Bœuf commun, de la marne coquillière, Forfarshire; molaire vraie, mâchoire supérieure; deux tiers de grandeur naturelle. — *c*. Couronne. — La dent vue de côté.

trouvés le plus souvent à l'état fossile dans les périodes Nouveau Pliocène et Post-Pliocène.





Fig. 143. — Ours.

a. Canine ou défense d'ours (*Ursus spelæus*), d'une caverne près de Liége. — *b*. Molaire gauche, mâchoire supérieure; un tiers de grandeur naturelle.

Fig. 144. — Tigre.

c. Canine de tigre (*Felis tigris*), récent. — *d*. Surface extérieure de la molaire postérieure, mâchoire inférieure ; un tiers de grandeur naturelle.

Fig. 145.

Hyæna spelæa, deuxième molaire, côté gauche, mâchoire inférieure ; grandeur naturelle. Caverne de Kirkdale (voyez page 258).



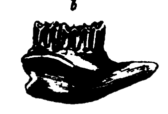




Fig. 146. — Dent d'une nouvelle espèce d'*Arvicola* (rat des champs); Crag de Norwich — *a*. Couronne. — *b*. Côté de la dent. — *c*. Grandeur naturelle de *a* et de *b*.





Fig. 147. — *Megatherium*. — Géorgie, États-Unis, *a*. Quatrième molaire, côté droit, mâchoire inférieure. Un tiers de grandeur naturelle. — *b*. Couronne de la dent précédente.

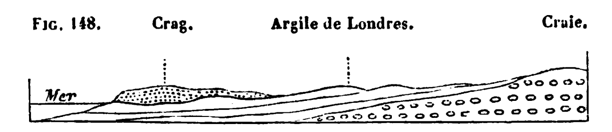
CHAPITRE XIV.

FORMATIONS DU VIEUX PLIOCÈNE ET DU MIOCÈNE.

Couches de Suffolk, appelées *Crag Rouge* et *Crag Corallin*. — Fossiles et proportion des espèces récentes. — Profondeur de la mer et climat. — Lien du Crag de Suffolk à la période du Vieux Pliocène. — Migration de plusieurs espèces de coquilles, vers le Sud, pendant la période Glaciaire. — Baleine fossile. — Crag d'Anvers. — Couches subapennines. — Asti, Sienne, Rome. — Formations Aralo-Caspiennes. — Formations Miocènes. — Faluns de Touraine. — Profondeur de la mer et caractère littoral de la faune. — Climat tropical indiqué par les testacés. — Proportion des espèces récentes de coquilles. — Faluns plus anciens que le Crag de Suffolk. — Couches Miocènes de Bordeaux. — Du Bolderberg, en Belgique. — Du nord de l'Allemagne. — Bassin de Vienne. — Piémont. — Mollasse de Suisse. — Lits à feuilles de Mull, en Écosse. — Vieux Pliocène. — Formations du Vieux Pliocène et du Miocène aux États-Unis. — Collines Sewâlik, dans l'Inde.

Les couches du Vieux Pliocène sont principalement limitées dans la Grande-Bretagne à la partie orientale du comté de Suffolk, où on leur donne le nom de *Crag*, comme aux couches de Norwich que nous avons déjà décrites. Le mot *Crag* désigne dans les provinces ces masses de sable coquillier qui sont employées depuis des temps très anciens en agriculture pour fertiliser les sols pauvres en carbonate de chaux. La position du crag rouge, par rapport à l'Argile de Londres, dans l'Essex, est représentée dans la coupe ci-jointe (fig. 148).

FIG. 148. Crag. Argile de Londres. Craie.



Le dépôt, suivant le professeur E. Forbes, paraît, à en juger par les coquilles qu'il contient, avoir été formé d'ordinaire dans une mer de profondeur moyenne, 27 à 45 mètres environ ; on ne peut cependant pas l'appeler littoral, car sa

faune comprend des espèces qui s'éloignent de 60 à 80 kilomètres des terres.

Le Crag de Suffolk se divise naturellement en deux masses, l'une supérieure, ou Crag Rouge, et l'autre inférieure, ou Crag Corallin (1). Le dépôt supérieur consiste principalement en sable quartzeux, avec mélange accidentel de coquilles roulées et quelquefois même triturées. En certains endroits il fournit des fossiles que les eaux ont entraînés des couches tertiaires plus anciennes, spécialement de l'Argile de Londres. Le Crag inférieur, ou Corallin, occupe une étendue très limitée, 32 kilomètres de long sur 4 ou 6 de large, entre les rivières Alde et Stour. Généralement calcaire ou marneux, il se compose de coquilles, de bryozoaires (2), de petits coraux, et passe accidentellement à une pierre tendre propre aux constructions. A Sudbourn près d'Oxford, s'ouvrent de larges carrières, profondes de 15 mètres, et qui n'ont pas encore atteint le fond de la formation. Sur quelques points du voisinage, on trouve, intercalés dans la masse plus tendre, du calcaire dur en plaques minces et des coraux conservant encore leur direction verticale primitive.

Le Crag Rouge se reconnaît à la couleur ferrugineuse foncée ou ocreuse de ses sables et fossiles; le Crag Corallin se distingue par sa couleur blanche. Les deux formations sont d'épaisseur moyenne : le Crag Rouge dépasse rarement 12 mètres, et le Crag Corallin 6 mètres. Toutefois leur importance ne doit point être estimée par l'épaisseur des

(1) Voyez le Mémoire de E. Charlesworth, *London and Edinb. Phil. Mag.*, n° XXXVIII, p. 81, août 1835.

(2) Ehrenberg a proposé, en 1831, le mot *Bryozoum*, ou *animal-mousse* pour désigner la forme molluscoïde ou ascidienne des polypes caractérisés par deux ouvertures du sac digestif, comme les *Eschara*, *Flustra*, *Retepora* et autres zoophytes vulgairement compris dans les coraux, mais aujourd'hui classés parmi les mollusques par les naturalistes. Le mot *Polyzoum*, synonyme de *Bryozoum*, a été, je crois, proposé en 1830, ou l'année auparavant, par M. J.-V. Thompson ; mais il est moins généralement adopté. Les *Zoanthaires* de Milne Edwards et Haime, ou véritables coraux, n'ont qu'une ouverture à l'estomac.

couches ou par leur étendue géographique, mais par leur richesse extraordinaire en débris organiques appartenant à un type tout à fait particulier, qui paraît avoir caractérisé l'état de la création vivante dans le nord de l'Europe pendant la période du Pliocène ancien.

Nous devons aux recherches de M. Searles Wood une nombreuse collection de poissons, échinodermes, coquilles, bryozoaires et coraux des dépôts de Suffolk. Il a obtenu, en testacés seulement, 230 espèces du Crag Rouge et 345 du Crag Corallin; 150 sont communes aux deux masses. M. Wood estime que la proportion des espèces récentes dans le groupe nouveau s'élève à environ 70 pour 100 (1), et celle du Crag Ancien ou Corallin à 60 environ. J'ai eu l'occasion d'examiner ces coquilles de Suffolk en 1835, avec MM. Beck, Georges Sowerby, Searles Wood et autres éminents conchyliologistes, et j'ai acquis la conviction que les espèces éteintes surpassaient en nombre les espèces vivantes.

De récentes recherches ont jeté un grand jour sur la conchyliologie des mers Arctique, Scandinave, Britannique et Méditerranée. Plusieurs des espèces qui n'avaient d'abord été connues que comme fossiles du Crag, et qu'on supposait avoir été anéanties après la formation de celui-ci, ont été retirées vivantes de profondeurs jusqu'alors inexplorées.

D'un autre côté, la découverte d'un plus grand nombre d'individus a fait voir que des espèces récentes, regardées comme distinctes des espèces fossiles du crag les plus voisines, étaient sujettes à de plus importantes variations de grosseur et de forme qu'on ne l'avait supposé; on a donc admis l'identité et reconnu que la faune du Crag s'approchait extrêmement de la faune récente des mers Septentrionale, Britannique et Méditerranée. L'analogie du groupe entier des testacés avec le type européen est très marquée, soit que l'on

(1) Voyez *Monograph on the Crag Mollusca*. Searles Wood, *Paleont. Soc.*, 1848.

considère le grand développement de certains genres en nombre d'espèces et en grosseur, ou bien la suppression ou la faible représentation des autres. Une précieuse indication nous est encore fournie par la faune, car elle signale un climat qui n'était guère plus chaud que celui qui règne aujourd'hui dans les latitudes correspondantes, et nous conduit à penser que les fossiles en question ne remontent pas beaucoup plus haut que l'époque du Vieux Pliocène.

Nous avons déjà montré (fig. 148) la position du Crag Rouge dans l'Essex, par rapport à l'Argile de Londres sous-jacente et à la Craie; sur tous les points où les deux divisions se rencontrent dans le même district, le Crag Rouge est supérieur; et dans certains cas, par exemple dans la figure 149,

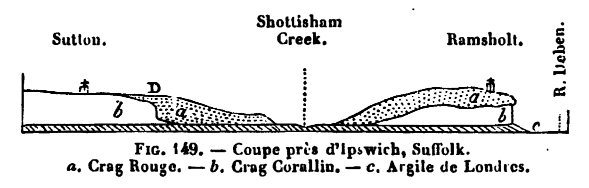


FIG. 149. — Coupe près d'Ipswich, Suffolk.
a. Crag Rouge. — *b.* Crag Corallin. — *c.* Argile de Londres.

la masse *b*, plus ancienne ou Coralline, a subi une dénudation évidente avant le dépôt de la formation plus nouvelle *a*. En D, on observe un escarpement de Crag Corallin de 2 ou 3 mètres de haut qui se dirige N.-E. et S.-O., et reçoit les bords du Crag Rouge avec ses couches horizontales; cet escarpement est en surplomb, et la roche qui le constitue est perforée sur toute son étendue par les *pholades;* les trous ont été plus tard remplis de sable et recouverts lorsque les nouvelles couches s'y sont déposées. Comme la formation plus ancienne doit, d'après la nature des fossiles, s'être accumulée dans une mer plus profonde (de 27 à 45 mètres ou même plus), on ne saurait douter qu'un exhaussement du fond de la mer ait précédé la production de l'escarpement. Une semblable dénudation n'a pu s'accomplir au sein de matières aussi incohérentes sans qu'un grand nombre des fossiles des couches inférieures se soient mêlés avec le Crag sus-jacent; aussi le paléontolo-

giste éprouve-t-il parfois une sérieuse difficulté à séparer les espèces appartenant à chaque groupe.

Formé dans une mer profonde, le Crag Rouge ressemble souvent, par sa structure, à un banc de sable en pente; ses couches sont inclinées diagonalement, et ses plans de stratification sont quelquefois dirigés, dans la même carrière, vers les quatre points de la boussole, comme à Butley. Ce n'est point une fausse apparence, due à quelque arrangement subséquent des particules concrétionnées ou à de simples lignes de couleur, car chaque couche est composée de fragments aplatis de coquilles disposés parallèlement aux plans des plus petites couches.

Certains fossiles, très abondants dans le Crag Rouge, n'ont jamais été rencontrés dans la division blanche ou coralline: ainsi le *Fusus contrarius* (fig. 150) et plusieurs espèces de

Fossiles caractéristiques du Crag Rouge.

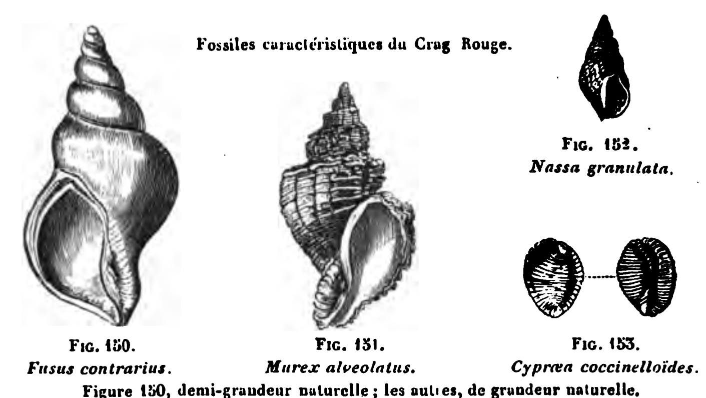


Fig. 150. *Fusus contrarius.* Fig. 151. *Murex alveolatus.* Fig. 152. *Nassa granulata.* Fig. 153. *Cypræa coccinelloïdes.*

Figure 150, demi-grandeur naturelle; les autres, de grandeur naturelle.

Murex, *Buccinum* et *Nassa* (fig. 151, 152) paraissent manquer dans le Crag Inférieur.

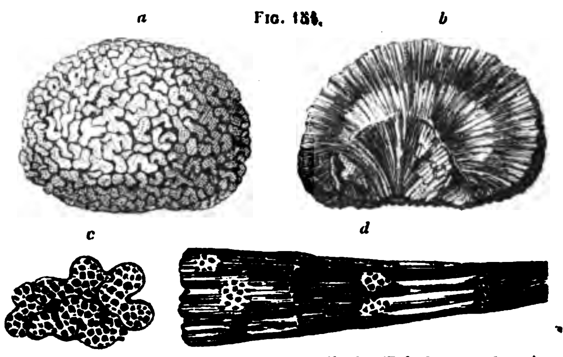
Parmi les dents et os de poissons, on remarque ceux de grands requins (*Carcharodon*) et une raie gigantesque du genre éteint *Myliobates*, ainsi que plusieurs autres formes dont quelques-unes sont communes à nos mers et d'autres leur sont étrangères. C'est toutefois une question de savoir si ces fossiles doivent être rapportés à l'époque du Crag Rouge; il en est qui peuvent être originaires de cou-

ches plus anciennes, spécialement de ces formations de l'Éocène Supérieur que nous décrirons dans le prochain chapitre, et qui, largement développées en Belgique, fournissent aussi, en Angleterre, un lambeau échappé à la dénudation (couches de Hempstead, de Forbes).

La différence qui existe entre les fossiles du Crag Corallin et ceux du Crag Rouge vient de leur âge, et en même temps des conditions géographiques du fond sous-marin qui leur servait d'habitation. Le développement considérable des coraux et des échinides, la prodigieuse variété des testacés et des bryozoaires impliquent une eau plus profonde et plus tranquille, tandis que le Crag Rouge a pu se déposer ultérieurement sur le même point lorsque les eaux furent plus basses. Le climat devenant un peu plus froid, quelques-uns des zoophytes qui vivaient dans la première période auront disparu, de telle sorte que la faune du Crag Rouge acquit un caractère qui se rapproche un peu plus de celui de nos mers du Nord. Cette similitude ressort de l'abondance remarquable de certaines sections des genres *Fusus*, *Buccinum*, *Purpura* et *Trochus*, propres à des latitudes plus hautes, et qui manquent ou ne sont que faiblement représentés dans le Crag Inférieur.

Quelques-uns des coraux et bryozoaires du Crag Infé-

FIG. 154.



Fascicularia aurantium (Milne Edwards). Famille des *Tubulipores*, du même auteur. Bryozoaire d'un genre éteint, provenant du Crag inférieur ou Corallin (Suffolk).

a. Extérieur. — *b*. Coupe verticale de l'intérieur. — *c*. Partie de l'extérieur, grossie. — *d*. Portion de l'intérieur, grossie, montrant qu'il est formé de tubes longs, minces et étroits, réunis en faisceaux coniques.

rieur de Suffolk appartiennent à des genres inconnus dans la création vivante : tel est celui que représente la figure 154 ; c'est l'un des genres nombreux qui offrent une forme globulaire. Le grand nombre et la variété de ces zoophytes indiquent un climat probablement uniforme et exempt des grands froids de l'hiver. D'un autre côté, la chaleur n'aurait jamais été non plus excessive, et nous en avons une preuve dans la prédominance des formes septentrionales de testacés tels que *Glycimeris*, *Cyprina* et *Astarte*. Du genre ci-dessus mentionné (fig. 155), on compte environ quatorze espèces dont plusieurs sont nombreuses en individus ;

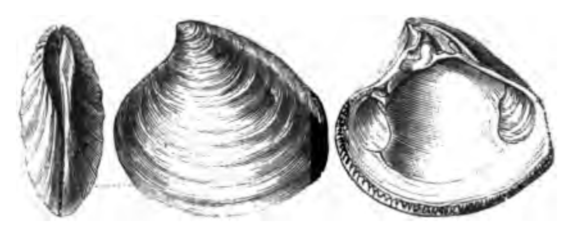


Fig. 155. — *Astarte* (*Crassina*, Lam.); espèces communes au Crag Supérieur et Inférieur.
Astarte Omalii (Lajonkaire), syn. *A. bipartita*, Sow., Min. Conch., t. 521, f. 3 ; espèce très variable, très caractéristique du Crag Corallin (Suffolk).

on remarque l'absence des genres particuliers aux climats chauds, tels que *Conus*, *Oliva*, *Mitra*, *Fasciolaria*, *Crassatella* et autres. La *Cypræa* (fig. 153) est petite aussi, et ap-



Fig. 156. — *Voluta Lamberti* ; jeune individu, Crag Corallin et Crag Rouge.

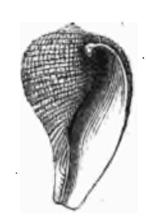


Fig. 157.
Pyrula reticulata. Lam. ; Crag Corallin (Ramsholt).



Fig. 158.
Temnechinus excavatus, Forbes ; *Temnopleurus excavatus*, Wood ; Crag Corallin (Ramsholt).

partient à une catégorie (*Trivia*) qui habite aujourd'hui les régions plus froides. Une grande volute, appelée *Voluta Lam-*

berti (fig. 156), semblerait une exception; mais elle diffère par la forme des volutes de la zone torride, et peut, comme la *Voluta Magellanica* actuelle, avoir été propre à un climat extra-tropical.

La présence, à Sutton, d'une espèce de *Lingula* (fig. 160) est digne de remarque, car ces sortes de brachiopodes semblent aujourd'hui confinés à des latitudes plus équatoriales; il en est de même d'une espèce de *Pyrula*, encore plus caractéristique, et que M. Wood suppose identique avec la *P. reticulata* (fig. 157) qui vit aujourd'hui dans l'océan Indien. Un genre d'échinodermes, appelé par le professeur Forbes *Temnechinus* (fig. 158), est particulier au Crag Rouge et au Crag Corallin de Suffolk. Les seules espèces vivantes de ce genre se rencontrent dans l'océan Indien. Maintenant, que nous admettions pour cette période une température moyenne annuelle plus basse ou plus élevée qu'elle ne l'est aujourd'hui, nous sommes certainement en droit d'inférer que, dans la même contrée, le climat et les conditions géographiques se sont profondément modifiés depuis l'époque du Crag de Suffolk.

Nous devons à E. Forbes l'une des conclusions les plus intéressantes qu'on puisse tirer d'une comparaison attentive des coquilles de ces couches anglaises du Vieux Pliocène avec la faune de nos mers actuelles. Il paraîtrait que, durant la période glaciaire, période intermédiaire comme nous l'avons vu, entre celle du Crag et celle de nos jours, plusieurs coquilles, d'abord établies dans la zone tempérée, se retirèrent vers le sud pour fuir un climat qui ne leur convenait plus. M. E. Forbes a donné une liste de cinquante coquilles qui ont habité les mers Britanniques pendant que le Crag Corallin et le Crag Rouge étaient en voie de formation, et qui, bien que vivant encore aujourd'hui dans nos mers, manquent toutes dans les dépôts pleistocènes ou glaciaires. Après leur migration vers le sud, les coquilles seraient retournées plus tard vers le nord. A l'appui de cette opinion, M. Forbes fait ressortir que ces cinquante espèces se ren-

contrent toutes fossiles dans les couches du Nouveau Pliocène de Sicile, de l'Italie méridionale et de l'Archipel grec, où elles ont dû trouver, pendant la période des glaces flottantes, un climat ressemblant à celui qui caractérise aujourd'hui les latitudes d'Europe les plus élevées (1).

Dans le Crag Rouge de Felixstow (Suffolk), le professeur Henslow a découvert des os d'oreille d'une ou plusieurs espèces de cétacés qui, suivant le professeur Owen, sont de véritables baleines de la famille des *Balenidæ* (fig. 159).



FIG. 159. — Os du tympan de la *Balæna emarginata*, Owen ; Crag Rouge (Felixstow).

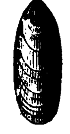


FIG. 160. — *Lingula Dumortieri*, Nyst ; Crag d'Anvers.

M. Owen pense que ces cétacés datent du Crag Rouge, ou qu'ils sont provenus de la destruction des lits du Crag Corallin.

Anvers. — On connaît depuis longtemps dans les environs d'Anvers et sur les bords de la Scheldt, au-dessous de cette ville, des couches du même âge que le Crag Rouge ou le Crag Corallin de Suffolk. Plus de deux cents espèces de testacés y ont été recueillies par MM. de Wael, Nyst et autres, et les deux tiers de ces espèces ont été identifiés par M. Wood avec les fossiles de Suffolk. Il a reconnu, entre autres, la *Lingula Dumortieri* de Nyst (fig. 160) que j'ai moi-même trouvée en abondance, en 1851, dans le dépôt que M. Wael appelle Crag Moyen. Plus de la moitié des coquilles de ce dépôt se rapporte à des espèces vivantes dont la plupart habitent nos mers septentrionales, bien qu'il s'y rencontre aussi quelques espèces méditerranéennes. J'ai trouvé dans la même formation de nombreux ossements de cétacés des genres *Balænoptera* et *Ziphius*. Comme ils ne sont pas roulés, ils ne proviennent point de lits plus anciens et n'ont point été transportés par les eaux ; d'où je conclus que les

(1) E. Forbes, *Mem. Geol. Survey, Great. Brit.*, vol. I, 386.

animaux auxquels ils appartenaient ont coexisté dans la même mer avec les mollusques associés (1).

Normandie. — En 1840, j'ai observé, près de Valognes en Normandie, un lambeau rempli de coquilles correspondant à celles du Crag de Suffolk; un dépôt contenant des fossiles semblables existe à Saint-George-Bohon et en plusieurs endroits, à quelques lieues au sud de Carentan; mais on n'en a jamais rencontré plus loin vers le sud.

Couches subapennines. — Les Apennins sont, on le sait, principalement composés de roches secondaires formant une chaîne qui part des Alpes Liguriennes et traverse la péninsule Italienne. Au pied de ces montagnes, tant du côté de l'Adriatique que du côté de la Méditerranée, on trouve une série de couches tertiaires dont la majeure partie constitue, dans l'espace compris entre la chaîne plus ancienne et la mer, une ligne de collines peu élevées. Brocchi, qui le premier a décrit en détail ce groupe plus nouveau, lui donne le nom de subapennin, et a classé dans le même système toutes les couches tertiaires qui s'étendent du Piémont à la Calabre. Certains caractères minéralogiques lui semblaient communs à toute la série : les couches consistaient généralement en marne bleue, recouverte par un sable ou gravier calcaire jaune; quelques espèces de coquilles fossiles relient ces dépôts dans toute l'Italie.

Il est aujourd'hui suffisamment prouvé que les couches subapennines de Brocchi, bien que composées principalement de couches du Vieux Pliocène, appartiennent à différents membres des séries tertiaires : celles, par exemple, de Superga près Turin, au Miocène; celles d'Asti et de Parme, de même que la marne bleue de Sienne, au Vieux Pliocène, tandis que les coquilles du sable jaune supérieur se rapprochent davantage de la faune récente de la Méditerranée et pourraient se rattacher au Nouveau Pliocène.

La marne brun grisâtre ou bleue de la formation subapen-

(1) Lyell, *On Belgian Tertiaries* (*Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1852, p. 382).

nine est très alumineuse et contient habituellement une forte proportion de matière calcaire et de lamelles de mica. Près de Parme, où elle atteint une épaisseur de 600 mètres, elle est remplie de coquilles marines dont quelques-unes ont vécu dans l'eau profonde et d'autres dans les eaux basses; un petit nombre appartient à des genres d'eau douce et doit avoir été apporté par les rivières. Parmi ces dernières, j'ai vu récemment la *Limnæa palustris* dans une marne bleue remplie de petites coquilles marines. Le bois et les feuilles qui, sur divers points, forment dans le même dépôt des lits de lignite, peuvent avoir été transportés à la mer par les mêmes causes. Les coquilles sont, en général, molles au moment où on les tire de la marne, mais elles durcissent en séchant. L'émail superficiel en est souvent bien conservé, et plusieurs présentent encore leur éclat nacré, une partie de leur coloration extérieure et même le ligament qui unissait leurs valves. Les foraminifères microscopiques qui abondent près de Sienne sont surtout parfaitement conservés. On en trouve parfois plus d'un millier à l'état de complet développement dans l'intérieur d'une seule coquille univalve de grosseur moyenne.

L'autre membre du groupe subapennin, le sable jaune et conglomérat, constitue, sur plusieurs points, une formation de rivage près de la jonction des roches tertiaires et secondaires. Dans certains cas, comme près de la ville de Sienne, un sable et un gravier calcaire reposent immédiatement sur le calcaire apennin, sans intermédiaire de marne bleue. Des lits à coquilles fluviatiles alternent avec d'autres lits exclusivement remplis d'espèces marines; j'ai même observé des huîtres adhérant à des galets calcaires. La ville de Sienne paraît située sur l'emplacement même où, durant la formation des couches tertiaires, aurait existé l'embouchure d'un cours d'eau venant des Apennins.

Dans quelques endroits, à San-Vignone par exemple, le sable passe à un grès calcaire; pour expliquer sa superposition générale à la marne, même dans les parties de l'Italie et de

la Sicile où la date de son origine est parfaitement claire, il faut admettre qu'il représente des deltas de rivières et de torrents qui auraient empiété sur le lit de la mer en des points où la marne bleue s'était d'abord déposée. Cette dernière roche, composée de vase plus fine et plus facile à transporter, dut être entraînée à une plus grande distance et occuper le fond sur lequel le sable et les galets se répandirent plus tard à mesure que les rivières poussaient plus avant leurs deltas. Sur quelques larges étendues de sable jaune, il est impossible de découvrir un seul fossile, tandis qu'ailleurs on en rencontre à profusion. Les coquilles sont parfois silicifiées comme à San-Vitale près de Parme, où j'ai vu deux individus d'espèces récentes, l'un d'eau douce et l'autre marin (*Limnæa palustris* et *Cytheræa concentrica*, Lam.), complétement convertis en silex.

Rome. — Les sept collines de Rome sont composées en partie de couches marines tertiaires appartenant à la période du Vieux Pliocène comme le Monte Mario, et en partie de tuf volcanique superposé aux couches précédentes et surmonté ordinairement d'un dépôt fluviatile et lacustre. Ainsi, sur le mont Aventin, le Vatican et le Capitole, à la hauteur d'environ 60 mètres au-dessus de la plaine alluviale du Tibre, on trouve des lits d'un tuf calcaire qui a incrusté des roseaux et des coquilles terrestres récentes. Une défense de mammouth a été extraite de cette formation, mais toutes les coquilles paraissent d'espèces vivantes et doivent avoir été ensevelies à l'époque où le sommet du Capitole formait un marécage occupant une des dépressions les plus basses de la contrée alors existante. Il n'est pas sans intérêt d'arriver ainsi à constater la date extrêmement récente d'un événement géologique qui a précédé une ère historique aussi reculée que celle de la construction de Rome.

Formations Aralo-Caspiennes. — Ce nom a été donné par Sir R. Murchison et M. de Verneuil aux calcaires et aux couches sableuses formées dans l'eau saumâtre qui leur sont associées, et qui couvrent non-seulement de vastes étendues de

pays autour des mers Caspienne, d'Azof et d'Aral, mais encore une portion des côtes septentrionales et occidentales de la mer Noire. Les coquilles fossiles sont en partie d'eau douce, comme les *Paludina*, *Nerita*, etc., et en partie marines, de la famille des *Cardiacées* et de celle des *Mytilacées*. Elles sont en majeure partie identiques avec celles qui habitent aujourd'hui la mer Caspienne, et les espèces éteintes ont plus d'analogie de formes avec celles qu'on trouve de nos jours dans les mers intérieures de l'Asie qu'avec les types de l'Océan. Le calcaire s'élève quelquefois à plusieurs centaines de mètres au-dessus de la mer ; on suppose qu'il indique l'existence primitive d'une vaste nappe intérieure d'eau saumâtre, aussi large et peut-être plus large que la Méditerranée.

La proportion des espèces récentes qui se rapportent à la faune de la mer Caspienne est assez considérable pour n'avoir laissé, dans l'esprit des géologues que nous venons de citer, aucun doute sur l'âge de la roche, qu'ils appellent aussi *calcaire des steppes ;* cette roche appartient à la période Pliocène (1).

Faluns de Touraine. — Les couches que nous rencontrons les premières dans l'ordre descendant, sont celles appelées par plusieurs géologues *tertiaires moyennes*, et pour lesquelles, en 1833, j'ai proposé le nom de Miocène. J'ai choisi les faluns de la vallée de la Loire, en France, comme exemple du type ; aucune couche contemporaine de ces formations n'a encore été rencontrée dans les îles Britanniques, où le Crag Inférieur de Suffolk est le dépôt qui s'en rapproche le plus quant à l'âge. Le nom de *faluns* a été donné par les agriculteurs français à un dépôt coquillier de sable et de marne qu'on répand à la surface du sol, en Touraine, pour fertiliser les terres, absolument comme on a fait du Crag en Suffolk. On rencontre des masses isolées de ces faluns près de l'embouchure de la Loire, dans les

(1) *Geol. of Russia*, p. 279, etc.

environs de Nantes, et plus loin dans les terres jusqu'aux environs de la contrée sud de Tours. On en trouve aussi à Pontlevoy sur le Cher, à 90 kilomètres environ au-dessus de la jonction de cette rivière avec la Loire, et à 40 kilomètres S.-E. de Tours. Des dépôts du même âge se voient également, mais avec d'autres traits minéralogiques, près des villes de Dinan et de Rennes, en Bretagne. J'ai visité toutes ces localités, et j'ai reconnu que les lits de la Loire consistent principalement en marne et en sable dans lesquels sont des coquilles et des coraux, les uns entiers, les autres roulés, d'autres en fragments ténus. Dans certains districts comme à Doué, département de Maine-et-Loire, à 15 kilomètres S.-O de Saumur, le dépôt constitue une pierre tendre à bâtir, principalement formée d'un agrégat de coquilles brisées, de bryozoaires, de coraux et d'échinodermes unis par un ciment calcaire; la masse est tout à fait semblable au Crag Corallin des environs d'Aldborough et de Sudbourn (Suffolk). Les lambeaux épars de faluns dépassent rarement l'épaisseur de 15 mètres; entre la Sologne et la mer, ils reposent sur des roches plus anciennes, très variées; on les voit successivement sur le gneiss, le schiste argileux, les diverses formations secondaires y compris la craie, et en dernier lieu, sur le calcaire d'eau douce supérieur des séries tertiaires parisiennes, lesquelles, comme nous l'avons déjà dit, s'étendent sans discontinuité du bassin de la Seine à celui de la Loire.



Fig. 161.
Dinotherium giganteum, Kaup.

Sur quelques points, tels qu'à Louans, au sud de Tours, les coquilles affectent une couleur ferrugineuse assez analogue à celle du Crag Rouge de Suffolk. La plupart des espèces y sont marines, mais quelques-unes appartiennent à des genres terrestres et fluviatiles. Parmi les espèces terrestres, l'*Helix turonensis*

(fig. 45, p. 49) est la plus abondante. Çà et là sont entremêlés des débris de quadrupèdes terrestres appartenant aux genres Dinotherium (fig. 161), Mastodonte, Rhinocéros, Hippopotame, Chœropotamus, Dichobune, Daim et autres; ils sont accompagnés de cétacés tels que le lamantin, le morse, le veau marin et le dauphin, tous d'espèces éteintes.

M. E. Forbes, d'après l'examen des testacés fossiles, considère ce dépôt comme formé en partie sur la plage même, au niveau de basses eaux, et en partie à des profondeurs plus considérables, mais qui n'auraient pas dépassé 18 mètres. La faune mollusque des *faluns* est, en somme, beaucoup plus littorale que celle du Crag Rouge et du Crag Corallin de Suffolk, et suppose une mer beaucoup moins profonde; elle s'en distingue encore par l'indication qu'elle fournit d'un climat étranger à l'Europe. On y rencontre, en effet, sept espèces de *Cypræa*, quelques-unes plus grandes qu'aucune de celles qui existent dans la Méditerranée; plusieurs espèces d'*Oliva*, *Ancillaria*, *Mitra*, *Terebra*, *Pyrula*, *Fasciolaria* et *Conus*. On n'y compte pas moins de huit espèces de cônes, dont quelques-unes très grandes, tandis que le seul cône européen est de petite taille. Le genre *Nerita* et plusieurs autres sont aussi représentés par des individus d'un type aujourd'hui caractéristique des mers équatoriales et tout à fait différent des formes méditerranéennes. Ces preuves d'une température plus élevée semblent assigner aux faluns un âge relativement plus ancien que celui du Crag de Suffolk; elles concordent parfaitement avec la proportion plus faible de testacés d'espèces récentes que renferment ces faluns.

Sur 290 espèces de coquilles que j'ai recueillies moi-même en 1840, à Pontlevoy, Louans, Bossée et autres villages, à 32 kilomètres au sud de Tours, ainsi qu'à Savigné, à environ 20 kilomètres N.-O., 70 seulement, soit 25 pour 100, peuvent être identifiées avec les espèces récentes. Sur les 290 espèces, un grand nombre sont communes à tous les points explorés; les espèces particulières à chaque localité ne sont pas

plus nombreuses qu'on ne l'observe ordinairement dans les différentes baies d'une même mer.

Sur les 302 espèces de mollusques testacés des faluns que je possède, M. Wood n'en a trouvé que 45 qui fussent communes au Crag de Suffolk. Les coraux, y compris les bryozoaires et les zoanthaires que j'ai recueillis à Doué et dans les autres localités, s'élèvent à 43 d'après les déterminations de M. Lonsdale, et, sur ce nombre, 7 (parmi lesquels un zoanthaire) se rapportent spécifiquement à ceux du Crag de Suffolk. Une seule espèce a pu jusqu'à présent être rapportée à un type vivant, mais il est difficile, même après les travaux de MM. Dana, Milne Edwards, Haime et Lonsdale, d'établir une comparaison satisfaisante entre les zoanthaires et les bryozoaires récents et fossiles. Quelques-uns des genres qui se rencontrent à l'état fossile en Touraine, comme les *Astrea*, les *Dendrophyllia*, les *Lunulites*, n'ont point été retrouvés dans les mers d'Europe, au nord de la Méditerranée ; néanmoins les zoanthaires des faluns ne semblent point indiquer un climat aussi chaud que le comporteraient les coquilles.

En comparant environ 300 espèces de coquilles de Touraine avec 450 du Crag de Suffolk, on a trouvé que 45, soit 15 pour 100 seulement, étaient communes aux deux formations. La même proportion existe pour les coraux. J'avais d'abord essayé d'expliquer cette différence entre les espèces par la coexistence de deux faunes qui auraient appartenu à des provinces zoologiques distinctes ou à deux mers ouvertes, l'une au nord et l'autre au sud, et séparées par une barrière analogue à l'isthme de Suez ; mais plusieurs raisons me font abandonner aujourd'hui cette opinion. C'est ainsi qu'après avoir suivi, en 1841, la faune du Crag vers le sud en Normandie, jusqu'à 112 kilomètres du type falunien près de Dinan, j'ai trouvé que les deux ensembles de fossiles conservaient leurs caractères distinctifs et ne présentaient aucun mélange d'espèces ou transition de climat.

D'après la comparaison de 280 coquilles de la Méditer-

ranée avec 600 espèces d'Angleterre, faite par un habile conchyliologiste, en 1841, 160 espèces ont été jugées communes aux deux collections, ce qui donne la proportion de 57 pour 100, et une ressemblance spécifique quatre fois plus grande qu'entre les mers du Crag et des faluns, malgré la distance plus considérable qui sépare l'Angleterre de la Méditerranée. Toutefois le principal motif qui engage à rapporter le Crag d'Angleterre au Vieux Pliocène et les faluns de France aux époques Miocènes, c'est la prédominance, au sein des couches d'Angleterre, de coquilles fossiles identifiables avec des espèces qui habitent encore aujourd'hui les mers voisines, tandis que les espèces éteintes qui les accompagnent appartiennent à des genres qui caractérisent l'Europe. Dans les faluns, au contraire, les espèces récentes sont en minorité marquée, et beaucoup d'entre elles habitent aujourd'hui la Méditerranée, la côte d'Afrique et l'océan Indien; en un mot, elles sont moins septentrionales par leurs caractères, et elles auraient une tendance à se rapporter à un climat plus chaud. Elles indiquent un état de choses qui s'éloigne davantage des conditions actuelles de l'Europe centrale relativement au climat et à la géographie physique, et qui, sans aucun doute, remonte plus loin vers les temps anciens.

Bordeaux. — Une grande étendue de pays, entre les Pyrénées et la Gironde, est recouverte de dépôts tertiaires de différents âges, de l'Éocène au Pliocène. Parmi ces dépôts, on distingue spécialement, dans les environs de Bordeaux, ceux de Saucats, de Mérignac et Bazas, qui se composent de sable avec coquilles marines et coraux du type des faluns de Touraine (1).

Belgique. — Une petite colline appelée le Bolderberg, que j'ai visitée en 1851, et qui est située près de Hasselt, à environ 60 kilomètres E.-N.-E. de Bruxelles, présente des couches de sable et de gravier sur lesquelles M. Dumont a, le premier, appelé l'attention comme représentant dans le

(1) Voyez un Mémoire, par M. V. Raulin. Bordeaux, 1848

Nord les faluns de Touraine. Ces couches sont tout à fait distinctes du Crag d'Anvers par leurs fossiles, et contiennent en abondance des coquilles des genres *Oliva*, *Conus*, *Ancillaria*, *Pleurotoma*, et *Cancellaria*. L'espèce la plus commune est une olive (fig. 162) appelée par Nyst *Oliva Dufresnii*, Bast., mais qui est sans aucun doute, comme M. Bosquet l'a fait observer, plus petite et plus courte que celle de Bordeaux (1).

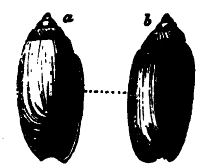


FIG. 162. — *Oliva*, fossile, de Bolderberg (Belgique); grandeur naturelle. *a*. Face antérieure. — *b*. Face postérieure ou dorsale.

Nord de l'Allemagne. — Nous voyons, dans le savant traité publié par M. Beyrich en 1853 (2), que la faune fossile qui nous occupe et qui était si pauvrement représentée au Bolderberg, se montre au contraire extrêmement riche en espèces dans d'autres localités du nord de l'Allemagne, par exemple dans le Mecklenbourg, le Lunebourg, l'île de Sylt, et à Bersenbrück, au nord d'Osnabrück en Westphalie, où elle a été observée pour la première fois par F. Roemer. On dit qu'elle se rencontre encore à Bocholt et sur d'autres points du même royaume. On la retrouve vers les confins de la Hollande, et aussi à Crefeld et à Dusseldorf. N'ayant pas visité ces localités, je ne puis émettre aucune opinion sur le véritable âge de ces nombreux dépôts.

Bassin de Vienne. — Dans le sud de l'Allemagne, on connaît depuis longtemps la ressemblance des coquilles du bassin tertiaire de Vienne avec celles des faluns de Touraine. Dans les planches de l'excellent ouvrage du docteur Hörnes sur les mollusques fossiles de cette formation, on observe plusieurs espèces du genre *Conus*, dont quelques-unes, très grandes, sont évidemment identiques avec celles des sables faluniens de Touraine. M. Alcide d'Orbigny a montré aussi que les foraminifères du bassin de

(1) Lyell, *On Belgian Tertiaries* (*Quart. Geol. Journ.*, 1852, p. 295). La figure de Nyst paraît avoir été copiée sur celle donnée par Basterot pour les fossiles de Bordeaux.

(2) *Die Conchylien des Norddeutschen Tertiärgebirges*. Berlin, 1853.

Vienne diffèrent des espèces de l'Éocène et du Pliocène, et concordent avec celles des faluns, autant du moins qu'on connaît ces dernières. Parmi les foraminifères de Vienne, le genre *Amphistegina* (fig. 163) est très caractéristique, et M. d'Archiac suppose qu'il doit prendre la même place parmi les

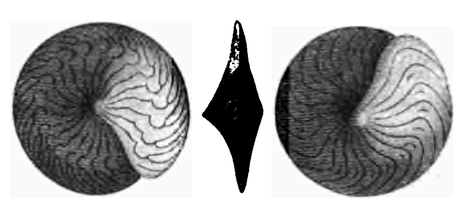


FIG. 163. — *Amphistegina Hauerina*, D'Orb. (Vienne), couches miocènes.

foraminifères de la période Miocène que les nummulites dans la période Éocène. Quelques géologues pensent que le bassin de Vienne comprend des couches tertiaires de différents âges, les couches les plus profondes que l'on ait atteintes par les puits artésiens étant plus anciennes que les faluns.

Piémont, Suisse. — Nous pouvons rapporter à la même époque miocène ou des faluns, une portion des couches de la colline de Superga, près de Turin, en Piémont (1), et aussi une partie de la Mollasse suisse ou sable verdâtre qui remplit la grande vallée helvétique entre les Alpes et le Jura. Au pied des Alpes, cette formation est habituellement représentée par un conglomérat appelé, en terme de province, *Nagelflue*, et qui atteint quelquefois la prodigieuse hauteur de 3 000 mètres, comme au Rigi près de Lucerne, et au Speer près de Wesen. La portion inférieure de la Mollasse est d'origine d'eau douce.

Écosse, île de Mull. — Dans les falaises qui forment le promontoire d'Ardtun, sur la côte occidentale de Mull, dans les Hébrides, plusieurs couches de formation tertiaire, contenant des feuilles de plantes dicotylédonées, ont été découvertes, en 1851, par le duc d'Argyle (2). D'après la description

(1) Voyez les ouvrages de M. Giov. Michelotti.

(2) *Quart. Geol. Journ.*, 1851, p. 89.

qu'on en a donnée, il y aurait trois lits à feuilles, variant de 0m,45 à 0m,75 d'épaisseur, et alternant avec un trapp et un tuf volcanique ; le tout d'une épaisseur de 40 mètres environ. Une coulée de basalte haute de 12 mètres recouvre la masse totale ; on voit à la base de la falaise un autre lit colonnaire de la même roche, épais de 3 mètres. Une des couches à feuilles n'est qu'une masse comprimée de ces sortes d'organes : on dirait que les feuilles ont été accumulées par le vent dans un marais où croissait une espèce d'*Equisetum* dont on retrouve d'abondants débris.

Le duc d'Argyle suppose que cette formation s'est accumulée dans un lac ou marais peu profond, près d'un volcan qui répandait des pluies de cendres et des torrents de lave. L'enveloppe tufacée de ces fossiles a pu tomber dans le lac sous forme de poussière volcanique, ou être entraînée des terres voisines par les eaux.

Le dépôt est certainement plus moderne que la craie, car des silex contenant des fossiles crétacés y ont été découverts dans la masse principale de tuf ou cendre volcanique (1). Les feuilles appartiennent à des espèces et quelquefois même à des familles qui ne sont plus indigènes des îles Britanniques, et *leur facies de climat*, dit le professeur E. Forbes, se rapporte bien plus à l'Europe moyenne qu'à la flore éocène de l'Angleterre. Les feuilles ressemblent aussi à quelques-unes des plantes miocènes de Croatie décrites par Unger. Certaines semblent appartenir à un arbre conifère, peut-être un if (*Taxus*) ; d'autres, plus abondantes, proviennent d'un platane (*Platanus*) dont la forme et les réticulations sont bien conservées. On n'a rencontré avec les feuilles aucune coquille fossile, et pour déterminer si ces lits sont de l'Éocène Supérieur ou du Miocène, on éprouve la même incertitude que lorsqu'on cherche à fixer, sur le continent, l'âge des différentes formations de lignites, sans excepter celles de Croatie. Ces découvertes intéressantes conduisent naturellement à

(1) Duke of Argyll, *Quart. Geol. Journ.*, 1851, p. 90.

demander si le basalte d'Antrim en Irlande et de la célèbre Chaussée des Géants n'est point du même âge, car, à Antrim, le basalte repose sur la craie, et sa masse supérieure recouvre partout un lit de lignite et de charbon dans lequel est conservé, avec fibres intactes, un bois évidemment dicotylédoné (1).

L'absence générale, dans les îles Britanniques, de couches d'un âge intermédiaire entre les formations des périodes Éocène et Pliocène, peut être attribuée, dit le professeur Forbes, à l'étendue qu'avait, en ce pays, la terre ferme durant l'immense intervalle de temps dont il s'agit. S'il y eut réellement prédominance de la terre ferme, les seuls monuments d'âge miocène que l'on pourrait rencontrer aujourd'hui seraient ceux d'origine lacustre et volcanique, tels que les lits d'Ardtun dans l'île de Mull, ou les lignites et les basaltes qui leur sont associés à Antrim. Sur les flancs du Mont-Dore en Auvergne, j'ai vu, au sein des anciens tufs volcaniques, des lits à feuilles que j'ai toujours supposés de date miocène. Quelques-uns des dépôts de lignite d'Allemagne sont classés dans le Miocène; d'autres, comme nous le verrons dans le prochain chapitre, le sont dans l'Éocène Supérieur ou Moyen.

Formations du Vieux Pliocène et du Miocène, aux États-Unis. — Entre les monts Alleghany, formés de roches anciennes, et l'Atlantique, intervient, aux États-Unis, une région basse, occupée principalement par des couches de marne, d'argile et de sable se rapportant aux formations Crétacée et Tertiaire, mais principalement à cette dernière. L'élévation de cette plaine ne dépasse pas généralement trente mètres, bien que sur quelques points elle atteigne plusieurs centaines de mètres. Sa largeur, dans les États du Centre et du Sud, est habituellement de 150 à 200 kilomètres. Dans la Géorgie, l'Alabama et la Caroline du Sud, elle est presque entièrement composée de dépôts éocènes; mais, dans la Caroline du Nord, le Maryland, la Virginie, le Delaware,

(1) Duke of Argyll, *Quart. Geol. Journ.*, p. 101.

on reconnaît la prédominance de couches plus modernes; un examen fait en 1842 m'a conduit à les rapporter à la période du Crag d'Angleterre et des Faluns de Touraine (1). Si, chronologiquement parlant, ces couches peuvent être regardées comme représentant les deux formations européennes, on doit les ranger, pour l'âge, entre l'époque du Vieux Pliocène et celle du Miocène.

Sur 147 coquilles fossiles que j'ai recueillies, la proportion de celles qui se rapportent à des espèces récentes s'élève à environ 17 pour 100; mais, comme les fossiles identifiés représentent presque toujours des espèces qui vivent aujourd'hui dans l'Atlantique, le nombre s'en accroîtra certainement lorsque la faune vivante de cet océan sera mieux connue. Du reste, la proportion des espèces récentes varie considérablement dans les différentes localités.

Sur les bords de la rivière James en Virginie, à environ 32 kilomètres au-dessous de Richmond, j'ai observé dans un escarpement de 9 mètres de haut, des sables jaunes et blancs reposant sur une marne éocène, précisément comme les sables jaunes du Crag recouvrent l'argile bleue de Londres dans le Suffolk et dans l'Essex en Angleterre. Dans ces sables de Virginie, j'ai trouvé à profusion une espèce d'astarte (*A. undulata*, Conrad) qui ressemble beaucoup à l'*Astarte bipartita*, l'une des espèces les plus communes à l'état fossile dans le Crag de Suffolk, et dont elle n'est peut-être qu'une variété; les coquilles qui se rapportent aux genres *Natica*, *Fissurella*, *Artemis*, *Lucina*, *Chama*, *Pectunculus* et *Pecten*, présentent une double analogie avec celles du Crag d'Angleterre et celles des Faluns de France, bien que les espèces soient presque toutes distinctes. Sur ces 147 fossiles d'Amérique, je n'en ai rencontré que 13 qui fussent communs à l'Europe; on les trouve en partie dans le Crag de Suffolk, et en partie dans les Faluns de Touraine; mais un trait caractéristique du groupe d'Amérique, c'est que non-seule-

(1) *Proceed. of the Geol. Soc.*, vol. IV, part. 3, 1843, p. 547

ment il contient plusieurs formes éteintes particulières, telles que *Fusus quadricostatus*, Say (fig. 165), et *Venus tridacnoides*, abondantes dans les mêmes formations, mais aussi quelques coquilles comme le *Fulgur carica* de Say et *F. canaliculatus* (fig. 164), *Calyptræa costata*, *Venus mercenaria*, Lam., *Modiola glandula*, Totten, et *Pecten Magellanicus*, Lam., qui sont des espèces récentes, et, de plus, des formes

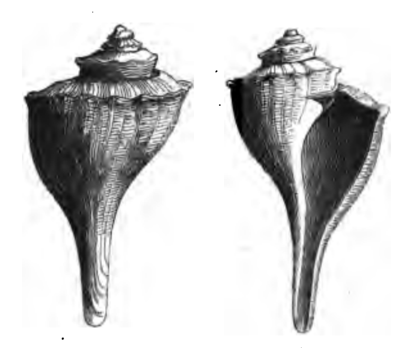


FIG. 164. — *Fulgur canaliculatus* (Maryland).



FIG. 165. — *Fusus quadricostatus*, Say (Maryland).

aujourd'hui confinées sur le côté occidental de l'Atlantique. Ce fait implique que certaines traces du commencement de la distribution géographique actuelle des mollusques datent de la période Miocène.

Parmi les zoophytes, au nombre de dix, que m'avaient fournis les bords de la rivière James, une espèce avait été d'abord admise par M. Lonsdale comme identique avec un fossile des Faluns de Touraine (fig. 166); mais un nouvel examen a fait voir qu'elle en différait et se rapportait génériquement à un corail qui vit aujourd'hui sur la côte des États-Unis. Relativement au climat, M. Lonsdale regarde ces coraux comme signalant une température supérieure à celle de la Méditerranée, et les coquilles conduiraient à des conclusions semblables. Les fossiles de la rivière James



FIG. 166. — *Astrangia lineata* (Lonsdale). Syn. *Anthophyllum lineatum*; Williamsburg, Virginie.

sont par le 37e degré de latitude N., tandis que les Faluns de France sont au 47e. Cependant les formes d'Amérique indiqueraient difficilement un climat aussi chaud que celui qui a dû régner en France à l'époque de l'origine des couches Miocènes de Touraine. Parmi les débris de poissons qui appartiennent à ces couches Post-Éocènes des États-Unis, il faut citer des dents de squales divers qui ne diffèrent point spécifiquement des fossiles faluniens de la Touraine.

Inde. — Collines Sewâlik. — Les dépôts d'eau douce des collines sub-himalayennes ou Sewâlik, décrits par le docteur Falconer et le capitaine Cautley, appartiennent probablement à l'une des divisions du Miocène, bien qu'il soit difficile de trancher la question jusqu'à ce que les coquilles d'eau douce et terrestres qui accompagnent ces dépôts aient été déterminées avec plus de soin, et comparées avec les fossiles des autres dépôts tertiaires. Les couches en sont certainement plus modernes que les roches nummulitiques de l'Inde, et, de même que les Faluns de Touraine, elles contiennent les genres *Dinotherium* et *Mastodon* qui y sont associés à sept espèces éteintes d'éléphants. La présence dans ce dépôt d'une girafe et d'un hippopotame fossiles, genres qui ne vivent aujourd'hui qu'en Afrique, et d'un chameau, habitant de plaines étendues, implique un premier état géographique extrêmement différent de celui qui prévaut aujourd'hui dans la même contrée. Une espèce d'*Anoplotherium* (*A. posterogenitum*) forme un lien entre cette faune et celle de la période Éocène; cependant, les mammifères des collines Sewâlik ont, dans l'ensemble, un caractère plus moderne que ceux de l'Éocène Supérieur : quelques-uns seulement se rapportent à des genres éteints, tandis que presque tous les genres Éocènes ont disparu. De plus, la faune sub-himalayenne offre un grand développement de ruminants, ordre si faiblement représenté dans la période Éocène. Il faut ajouter au chameau et à la girafe le grand *Sivatherium*, ruminant plus haut que e rhinocéros, et muni d'une large lèvre su-

périeure, peut-être même d'une courte trompe et de deux paires de cornes ressemblant à celles des antilopes. Le nombre d'espèces du genre Antilope est également remarquable. La même faune comprend divers carnivores dont plusieurs appartiennent à des genres éteints, et différentes espèces de singes. Parmi les reptiles, on distingue des crocodiles dont quelques-uns présentent des dimensions plus considérables que les crocodiles actuels; enfin une énorme tortue, *Testudo atlas*, dont la carapace ne mesure pas moins de 6 mètres de diamètre.

CHAPITRE XV.

FORMATION DE L'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR

(*Miocène Inférieur de différents auteurs*).

Remarques préliminaires sur la classification et sur la ligne de séparation des couches de l'Éocène et du Miocène. — La formation du Limbourg et les formations contemporaines doivent-elles être rangées dans l'Éocène Supérieur? — Couches du Limbourg, en Belgique. — Couches du même âge, dans le nord de l'Allemagne. — Éocène Supérieur de Hempstead Hill, île de Wight. — Éocène Supérieur de France. — Couches lacustres d'Auvergne. — Calcaire à Induses. — Couches d'eau douce du Cantal. — Leur ressemblance, sur quelques points, avec la craie blanche à silex. — Preuves d'un dépôt graduel. — Éocène Supérieur de Bordeaux, d'Aix en Provence, de Malte, etc. — Éocène Supérieur de Nebraska, États-Unis.

Remarques préliminaires. — J'ai établi dans le dernier chapitre qu'on ne connaissait encore en Angleterre aucune couche marine contemporaine des Faluns de Touraine, ou de ces dépôts coquilliers de la vallée de la Loire que j'ai choisis pour type de la période Miocène. Cependant, on a récemment découvert dans l'île de Wight certains dépôts fluvio-marins que plusieurs géologues du continent appellent *Miocène Inférieur*, donnant aux *Faluns* le nom de *Miocène Supérieur*. Il est nécessaire d'entrer dans quelques explications touchant cette différence de nomenclature.

Les couches marines du nord de la France, qui, dans l'ordre chronologique, viennent les premières après les *Faluns*, ou qui les précèdent immédiatement quant à l'âge, sont les sables et grès appelés *Grès de Fontainebleau* ou *Sables Marins Supérieurs* (voyez le tableau général, p. 170). Ces roches constituent les couches supérieures du bassin de Paris, et sont recouvertes par un calcaire d'eau douce appelé *Calcaire de la Beauce*. Ces sables marins ne contiennent pas de coquilles fossiles communes aux faluns ou n'en contiennent qu'un très petit nombre; les espèces vivantes y sont presque aussi rares que dans les groupes de l'Éocène Moyen, ou

Éocène type. Cette différence dans les fossiles, et d'autres motifs que je vais exposer, m'ont conduit à exclure les *Sables Supérieurs* de la période Miocène, et j'ai profité de l'hiatus qui existe entre le Grès de Fontainebleau et les Faluns pour tracer une ligne de séparation entre l'Éocène et le Miocène. A l'appui de cette classification j'ai fait ressortir que les *Sables Marins Supérieurs* ou Grès de Fontainebleau de la série parisienne, avec leurs coquilles caractéristiques, s'étendent vers le Sud, à partir de la métropole française, jusqu'à Étampes situé à 92 kilomètres de Pontlevoy, près Blois, et à 120 kilomètres de Savigné près Tours, localités où les coquilles des *Faluns* sont très abondantes. Une différence aussi remarquable entre les espèces de la vallée de la Loire et celles de la vallée de la Seine ne saurait être le résultat d'une distribution géographique particulière qui aurait prévalu à une seule et même époque antérieure; il faut nécessairement l'attribuer à une différence dans l'âge des dépôts; c'est une question de temps et non d'espace.

Un autre motif m'a porté à classer le Grès de Fontainebleau et les couches du même âge dans les séries plus anciennes, c'est le facies décidément éocène de la faune testacée, et le fait qu'un certain nombre de coquilles des *sables supérieurs* sont d'espèces communes aux couches parisiennes sous-jacentes.

Toutefois MM. Dufrénoy et E. de Beaumont ont adopté un autre classement : leur carte géologique de France comprend dans le groupe Miocène non-seulement les Faluns de Touraine, mais encore le *Calcaire de la Beauce*, d'eau douce, et les sables et grès marins (Grès de Fontainebleau), c'est-à-dire tous les dépôts tertiaires qui reposent sur la série gypseuse de Montmartre, formation bien connue par sa richesse en mammifères éteints, et qui, pour la première fois, a été illustrée par le génie de Cuvier. M. d'Archiac a suivi le même mode de classification et a séparé ce qu'il appelle tertiaire *Inférieur* de son tertiaire *Moyen*. M. Deshayes, dans son ouvrage sur les Coquilles fossiles des environs de Paris

(1834-1837), a signalé dans les couches marines supérieures 29 espèces qu'il a distinguées presque toutes spécifiquement des coquilles du *Calcaire Grossier*, bien qu'il les regardât comme caractéristiques de la même faune. La tranchée faite près d'Étampes en 1849 pour le passage du chemin de fer a permis à M. Hébert d'élever ce nombre à 90, et ce géologue a montré le premier qu'un grand nombre des coquilles appartiennent aux mêmes espèces que les coquilles de Kleyn Spawen, près de Maestricht en Belgique, de Rupelmonde et autres localités des environs d'Anvers. Ces fossiles de Belgique ont été décrits par MM. Nyst, de Koninck et Bosquet, et M. Dumont a établi leur position au-dessus des couches tertiaires de Bruxelles, qui représentent, sans aucun doute, le *Calcaire Grossier* de Paris ou groupe Éocène type. Vers le même temps, M. de Koninck a fait voir que les fossiles de Kleyn Spawen ou du Limbourg étaient en partie identiques avec ceux du bassin tertiaire de Mayence, bassin que, dans mes premières éditions, j'ai classé parmi les formations Miocènes. Plus récemment (1850), M. Beyrich a décrit une formation contemporaine de celle de Kleyn Spawen, et qui se rencontre à 10 kilomètres des portes de Berlin, près du village de Hermsdorf; il a montré qu'un tiers environ des espèces concordent avec les coquilles connues de Belgique de l'âge du Grès de Fontainebleau, tandis que près d'un cinquième appartient à l'Éocène Moyen d'Angleterre et de France.

En 1851, j'ai examiné avec soin les formations belges de Rupelmonde et de Boom près d'Anvers, et celle du Limbourg près de Maestricht, et je suis parvenu, avec l'aide de M. Bosquet, à dresser un tableau de plus de 200 espèces de coquilles se rattachant à l'époque en question. Or, comme plus d'un tiers sont identiques avec les testacés de l'Éocène d'Angleterre, même en n'étendant pas le sens de ce mot plus loin qu'à l'Éocène Moyen ou formation nummulitique (1), j'ai appelé ces formations couches de l'Éocène Supérieur; en

(1) *Quart. Geol. Journ.*, 1852, vol. VIII, p. 322.

effet, elles ressemblent aux formations anciennes par leurs fossiles autant que se ressemblent entre elles quelques-unes des différentes divisions des séries Éocènes en France et en Angleterre; autant, par exemple, que l'Argile de Barton (Hampshire), concorde avec l'Argile de Londres proprement dite, ou le Calcaire Grossier avec les Sables du Soissonnais en France.

Plus tard, dans l'hiver de 1852, M. E. Forbes eut occasion d'examiner près de Yarmouth, île de Wight, un dépôt très limité en surface, mais de plus de 50 mètres d'épaisseur, et qu'il reconnut pour être du même âge que les couches du Limbourg. Il trouva ce dépôt en position concordante avec les autres couches tertiaires déjà connues dans l'île, et y découvrit en grande abondance quelques-uns des fossiles les plus caractéristiques de Kleyn Spawen. Il appela ce dépôt *série de Hempstead* et le classa dans l'Éocène Supérieur, pour des raisons semblables à celles qui m'avaient conduit à y faire entrer les couches du Limbourg en Belgique. En effet, pour séparer ces couches des éocènes sous-jacentes, on serait obligé de tracer entre elles une ligne de démarcation tout à fait arbitraire, et qui laisserait au-dessus et au-dessous un grand nombre des mêmes espèces fossiles; or, entre la série de Bembridge (équivalent du Gypse de Montmartre, et formation Éocène bien caractérisée) et les couches de Hempstead, le passage est tellement complet, que M. Forbes a placé ensemble les deux groupes dans sa division de l'Éocène Supérieur, fixant à la base des couches de Bembridge la ligne de séparation entre l'Éocène Supérieur et l'Éocène Moyen.

En opposition à cette manière de voir, M. Beyrich (1) et le docteur Sandberger (2) prétendent que toutes les couches contemporaines de celles du Limbourg doivent être réunies sous le nom de Miocène Inférieur. Suivant M. Beyrich, si les couches du Bolderberg en Belgique et les nombreux dépôts

(1) *Die Conchylien des Norddeutsch. Tertiärgeb.* Berlin, 1853.

(2) *Ueber das Mainzer Tertiärbeckens*, etc. Wiesbaden, 1853.

de même date du nord de l'Allemagne sont de l'âge des *Faluns*, ces mêmes couches contiennent une telle proportion de fossiles communs à la formation du Limbourg, que cette formation peut hardiment être regardée comme Miocène, et qu'à moins d'absorber dans la division Éocène toutes les formations tertiaires sus-jacentes, on doit commencer, à partir de la base du Limbourg, une nouvelle série à laquelle on donnera le nom de Miocène Inférieur. Le docteur Sandberger divise les couches du bassin de Mayence en deux sections : l'une plus ancienne, et l'autre plus nouvelle. Selon lui, la première est l'équivalent des couches du Limbourg (ou de Hempstead), tandis que l'autre fournit quelques débris fossiles qui paraissent avoir un caractère plus moderne. Mais, lorsqu'on sépare de cette division plus élevée les sables d'Eppelsheim qui contiennent des os de *Dinotherium* et de *Mastodon longirostris* probablement d'âge falunien, le reste de la série peut être aussi ancien que les couches du Limbourg; le manque de bonnes coupes laisse encore beaucoup d'obscurité sur le groupement de ces couches. Le docteur Sandberger, cependant, donne une liste de douze coquilles, outre quelques dents de poissons et autres fossiles, qui sont communs au bassin de Mayence et aux sables de Hesse-Cassel. Aujourd'hui ces derniers sont classés comme subapennins ou pliocènes par le docteur Philippi, et quoique nous manquions de caractères suffisants pour déterminer exactement leur âge, ils paraissent bien manifestement appartenir à une faune plus moderne que celle du bassin de Mayence. Si l'on pouvait découvrir un rapport tel entre les deux formations qu'il existât un passage de la faune de Hesse-Cassel à celle des couches de Mayence, ce serait un puissant argument en faveur de la manière de voir de l'auteur.

Le lecteur a déjà compris que l'une des causes des embarras qu'on éprouve à classer les formations tertiaires résulte des interruptions qui se manifestent sur plusieurs points dans l'enchaînement des témoignages historiques. Pendant

plus de vingt ans j'ai patronné dans les *Principes de géologie* la doctrine de l'arrivée continuelle de nouvelles espèces avec destruction correspondante des espèces plus anciennes, d'un changement graduel dans la géographie physique et le climat de la terre, et de retours plus rares de révolutions subites dans les mondes organique et inorganique; cette doctrine, les géologues anglais l'avaient précédemment admise, et plusieurs des savants les plus distingués du continent l'admettent encore aujourd'hui. Lorsque, par conséquent, je proposai en 1833 le mot *miocène* pour les Faluns de Touraine, dont les coquilles fossiles, suivant M. Deshayes, contiennent environ 17 pour 100 d'espèces récentes, je prédis que de temps à autre on découvrirait de nouveaux groupes de couches qu'il faudrait intercaler entre les couches déjà décrites; que les fossiles de ces couches nouvellement découvertes dévieraient des types normaux d'abord choisis, et se rapprocheraient de plus en plus des types des époques antérieures ou postérieures. D'après cela, il fut évident dès le principe que les plus anciens représentants du Miocène, en quelques lieux qu'on les découvrît, seraient difficilement distingués des membres les plus jeunes de la série Éocène, spécialement quant à la proportion entre les coquilles fossiles vivantes et les espèces éteintes. En réalité, l'importance de ce dernier caractère doit diminuer rapidement à mesure que l'on s'éloigne du Pliocène pour s'approcher du Miocène, et surtout des formations Éocènes, bien qu'il ne soit jamais dépourvu de valeur et qu'il fournisse souvent le seul point de comparaison entre les couches de pays très distants.

Je ne nie point que des découvertes nouvelles ne puissent montrer un jour des gradations du Miocène à l'Éocène, et je ne me refuse pas non plus à la nécessité probable de comprendre alors dans la série Miocène quelques groupes fossilifères qui peuvent différer par leurs caractères du type établi, c'est-à-dire des Faluns de Touraine. Mais je n'ai rencontré jusqu'à présent aucune preuve suffisante d'un tel passage, et les limites de la série Éocène ont été étendues sans

combler encore l'hiatus qui sépare cette série des Faluns de Touraine. J'ajouterai qu'il ne s'agit pas simplement d'une question de nomenclature; la difficulté reste la même, que l'on emploie les mots Tertiaire Inférieur et Tertiaire Moyen ou Éocène et Miocène, car c'est à l'une ou l'autre de ces périodes que nous devons rapporter les couches du Limbourg et de Hempstead et les sables de la forêt de Fontainebleau. Pouvons-nous, sans heurter les principes paléontologiques, rattacher tous ces groupes à la même période que les Faluns de Touraine. Dans l'affirmative, il serait indifférent de les appeler Tertiaires Moyens, Miocènes ou *Faluniens*, ou de leur donner tout autre nom général. La question est de savoir si, dans l'état actuel de nos connaissances, l'ensemble des fossiles caractéristiques de ces groupes ressemble plus à l'Éocène qu'au Falunien. Je m'arrête donc, quant à présent, à la nomenclature que j'ai précédemment établie pour les couches décrites dans ce chapitre; je les appelle Éocènes Supérieures non point à cause du petit nombre d'espèces testacées vivantes qu'elles ont fournies, bien que ce soit certainement un lien entre elles et les couches Éocènes *nummulitiques*, mais à cause du facies de la faune qui me paraît plutôt Éocène que Falunien. Si l'on veut d'autres preuves de cette affinité, je renverrai le lecteur aux nombreuses et excellentes figures que M. Beyrich a données d'espèces du genre *Voluta* des couches du Limbourg et de l'Allemagne du nord, formes tout à fait caractéristiques de l'argile de Barton dans le Hampshire, qui est un membre régulier du groupe Éocène Moyen. Les Faluns n'offrent pas de formes semblables. Aussi, tant que la séparation entre les couches du Limbourg et les Faluns n'aura pas disparu complétement, il me paraît convenable de comprendre dans l'Éocène, le Limbourg et toutes les formations du même âge.

J'ai aussi tracé une séparation entre l'Éocène Moyen et l'Éocène Supérieur, et j'ai exclu de cette division les couches de Bembridge, ou série gypseuse de Montmartre. J'ai adopté cette méthode en vue de faire coïncider exactement

l'Éocène Supérieur de cet ouvrage avec les couches qu'un si grand nombre de géologues distingués ont classées dans le Miocène Inférieur. Je me suis borné toutefois à établir que la ligne de démarcation entre la série de Bembridge et celle de Hempstead est purement conventionnelle, et qu'elle est moins marquée que celle qui sépare la série de Bembridge du groupe sous-jacent de Sainte-Hélène (voyez le tableau, p. 170). Si je maintiens cette distinction, c'est, comme je viens de le dire, pour me conformer à un système de classification adopté par un grand nombre d'habiles géologues, et établi avant que la continuité non interrompue de la série Éocène, depuis ses portions nummulitiques ou centrales jusqu'aux couches Supérieures ou du Limbourg, eût été clairement démontrée.

Couches du Limbourg, en Belgique (*Systèmes Rupélien et Tongrien de Dumont*). — Les couches de Kleyn Spawen fournissent le meilleur type que l'on possède de l'Éocène Supérieur tel que nous venons de le définir. C'est dans les environs du village de ce nom, situé à environ 11 kilomètres ouest de Maestricht et dans l'ancienne province du Limbourg en Belgique, qu'on peut le mieux les étudier ; on en a obtenu environ deux cents espèces de testacés marins ou d'eau douce, avec un grand nombre de foraminifères et des débris de poissons.

Le tableau suivant montre la position des couches du Limbourg.

MIOCÈNE.

A.	Couches du Bolderberg (voyez p. 170) observées près de Hasselt.

ÉOCÈNE SUPÉRIEUR.

B. 1.	Limon à Nucules de Kleyn Spawen, de même âge que l'argile de Rupelmonde et de Boom.	Couches du Limbourg, Supérieures. — Rupélien de Dumont.
B. 2.	Couches fluvio-marines de Berg, Lethen et autres localités, près de Kleyn Spawen.	Couches du Limbourg, Moyennes. — Tongrien Supérieur de Dumont.
B. 3.	Grès Vert de Bergh, Neerepen, etc., près de Kleyn Spawen ; marin.	Couches du Limbourg, Inférieures. — Tongrien Inférieur de Dumont.

ÉOCÈNE MOYEN.

C.	Couches de Lacken et de Bruxelles, avec Nummulites, etc. ; Louvain et Bruxelles.

La subdivision supérieure (B. 1.) de la série du Limbourg contient à Kleyn Spawen plusieurs fossiles identiques avec ceux de l'argile de Rupelmonde et de Boon, localités situées à 16 kilomètres au sud d'Anvers, et à 96 kilomètres au N.-O. de Kleyn Spawen. L'argile à tuiles exploitée dans ces villages sur les bords de la Scheldt, a fourni environ quarante espèces de coquilles. A Rupelmonde, cette argile atteint l'épaisseur de 30 mètres et ressemble beaucoup, par ses caractères minéralogiques, à l'*Argile de Londres;* elle contient comme elle des *septaria*, ou concrétions de calcaire argileux traversées par des fissures intérieures. Les coquilles ont été décrites par MM. Nyst et de Koninck. La *Leda* (ou *Nucula*) *Deshayesiana* (fig. 167) est de beaucoup la plus abondante; ce fossile est inconnu jusqu'à présent dans les couches tertiaires d'Angleterre; mais lorsque les individus en sont jeunes, ils ressemblent beaucoup à la *Leda amygdaloides* de l'Argile de Lndres proprement dite (fig. 227). Parmi d'autres coquilles caractéristiques figurent le *Pecten Hœninghausii*, une espèce de *Cassidaria*, plusieurs espèces du genre *Pleurotoma*. Un certain nombre de ces testacés se rapportent aux espèces de l'Éocène d'Angleterre : tels sont l'*Actæon simulatus*, Sow., *Cancellaria evulsa*, Brander, *Corbula pisum* (fig. 170), et le *Nautilus ziczac*. Ces fossiles sont accompagnés de dents de différents squales, tels que *Lamna contortidens*, Ag., *Oxyrhina xiphodon*, Ag., *Carcharodon heterodon*, Ag. (fig. 221) et autres, dont quelques-uns sont communs aux couches de l'Éocène Moyen. Le même dépôt, B. 1., se voit très imparfaitement à Kleyn Spawen, où les divisions inférieures B. 2. et B. 3. sont beaucoup mieux développées. La division B. 2. se compose de plusieurs alternances de sable et de marne dans lesquelles on rencontre un mélange plus ou moins considérable de

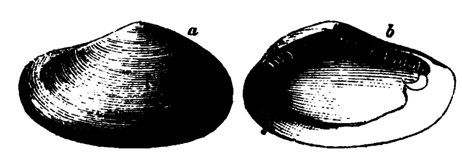


FIG. 167. — *Leda Deshayesiana* (Nyst). Syn. *Nucula Deshayesiana.*

coquilles fluviatiles et marines, ce qui implique l'existence accidentelle d'une embouchure de rivière près de la localité, et peut-être des oscillations dans le niveau du fond de la mer. En fait de testacés, on y remarque les *Cyrena semistriata* (fig. 171), *Cerithium plicatum*, Lam. (fig. 172), *Rissoa Chastelii*, Bosq. (fig. 174), et *Corbula pisum* (fig. 170), quatre coquilles qui sont communes aux couches de Hempstead, île de Wight; on y rencontre aussi la *Lucina Thierensii* et d'autres formes marines des genres *Venus*, *Limopsis*, *Trochus*, etc.

Dans B. 3., ou Limbourg inférieur, on a recueilli plus de cent coquilles marines, et particulièrement l'*Ostrea ventilabrum*. Les espèces communes au sable de Bruxelles sous-jacent, c'est-à-dire à l'Éocène Moyen, sont nombreuses; elles forment un tiers de la totalité, mais un grand nombre sont faiblement représentées en comparaison des coquilles véritablement caractéristiques, telles que *Ostrea ventilabrum*, *Mytilus Nystii*, *Voluta suturalis*, etc.

Dans aucune des couches de l'Éocène Supérieur de Belgique je n'ai pu trouver de Nummulites. M. d'Archiac avait déjà observé que ces foraminifères caractérisent la *série tertiaire inférieure* par contraste avec la série moyenne, et devraient par conséquent servir de caractère distinctif entre l'Éocène et le Miocène, si la ligne de démarcation était tracée conformément à sa méthode, ou bien entre l'Éocène Supérieur et l'Éocène Moyen, si l'on suivait le plan adopté dans cet ouvrage. Le même naturaliste nous apprend que, dans le Tertiaire Moyen, on n'a rencontré jusqu'à présent qu'une seule Nummulite, la *Nummulites intermedia*, espèce Éocène. On l'a trouvée dans la colline de Superga près Turin (1), au sein de couches ordinairement classées comme Miocènes, mais qui sont probablement plus anciennes que le type Falunien.

Hermsdorf près de Berlin. — M. Beyrich a décrit une

(1) D'Archiac, *Monogr.*, p 79-100

argile employée pour la fabrication des tuiles près du village de Hermsdorf, à 10 kilomètres des portes de Berlin. Cette argile, qui se trouve sous les sables dont la contrée est en grande partie recouverte, a plus de 12 mètres d'épaisseur; sa couleur est d'un gris bleuâtre foncé, et, comme celle de Rupelmonde, elle contient des *septaria*. Parmi ses coquilles, abondent la *Leda Deshayesiana* (fig. 167) et plusieurs espèces de *Pleurotoma*, *Voluta*, etc.; une certaine proportion des espèces fossiles est identique avec celles du Limbourg et de Mayence. M. Beyrich cite plusieurs autres localités dans le nord de l'Allemagne, particulièrement Magdebourg et certains points sur l'Elbe inférieur, où l'on voit des couches du même âge.

Bassin de Mayence. — J'ai déjà parlé du travail publié par le docteur F. Sandberger sur les formations tertiaires de Mayence, lesquelles, par une étendue qui varie entre 8 à 20 kilomètres, occupent toute la rive gauche du Rhin, depuis Mayence jusqu'aux environs de Manheim, et se rencontrent encore à l'E., au N. et au S.-O. de Francfort. M. de Koninck de Liége, a fait voir que la partie purement marine de ce dépôt (groupe Inférieur du docteur Sandberger) contenait plusieurs espèces de coquilles communes aux couches du Limbourg près de Kleyn Spawen, et à l'argile de Rupelmonde près d'Anvers. Il a mentionné, entre autres, la *Cassidaria depressa*, *Tritonium argutum*, Brander (*T. flandricum*, de Koninck), *Tornatella simulata*, *Rostellaria Sowerbyi*, *Leda Deshayesiana* (fig. 167), *Corbula pisum* (fig. 170) et *Pectunculus terebratularis*.

Sur quelques points, ces couches marines sont recouvertes de marne d'eau saumâtre contenant des *Cyrenæ* en grand nombre (la *Cyrena semistriata*), le *Cerithium plicatum*, la *Corbulomya triangula*, le *Mytilus Faujasii* et autres coquilles du Limbourg et de Hempstead. La *Perna Soldani*, coquille des lits de l'Éocène Supérieur, ou lits de Mérignac du bassin de Bordeaux, et que l'on trouve aussi dans le bassin de Vienne, est caractéristique à la fois des séries marine et

d'eau saumâtre. On rencontre, dans les mêmes dépôts, deux espèces d'Anthracothérium, *A. magnum*, Cuv., et *A. Alsaticum*.

La portion supérieure de cette série présente, à sa base, un calcaire contenant en abondance des coquilles terrestres, et des *Cérithes* parmi lesquels le *Cerithium plicatum*, ainsi qu'une bivalve du Limbourg, la *Venus incrassata*, Sow., commune à l'Éocène Moyen ou de Headon en Angleterre; dans ce calcaire se rencontrent aussi la *Nerita concava* (fig. 194) de l'Éocène Moyen et le *Rhinoceros incisivus*, la plus ancienne espèce du genre, appelée par Kaup *Acerotherium*. Plus haut, on trouve un calcaire très riche en *Littorinella*, *Paludina inflata* et autres espèces des mêmes genres. L'une de ces espèces, la *Littorinella ulva*, est répandue dans toute l'étendue du bassin. Ces coquilles ne dépassent guère la grosseur de grains de riz, et souvent elles existent en quantité telle, qu'elles constituent des lits entiers de marne et de calcaire en masses stratifiées de 4 à 8 mètres d'épaisseur; on voit aujourd'hui se former au fond de la mer Baltique des accumulations semblables de *Littorinella ulva* qui atteignent plusieurs mètres d'épaisseur sur de larges surfaces. Au sein des mêmes lits abondent plusieurs espèces de *Dreissena*, forme commune aux couches de Headon et aux mers actuelles. En somme, je ne suis pas persuadé que cette faune tende véritablement du type du Limbourg vers celui des Faluns, comme le pense M. Sandberger. Parmi les mammifères, on signale les suivants : *Hippotherium gracile*, *Acerotherium* (ou *Rhinoceros*) *incisivum*, *Palœomeryx*, *Chalicomys*, etc. Enfin le tout est recouvert par le Sable d'Eppelsheim qui contient le *Dinotherium giganteum* et quelques autres quadrupèdes évidemment miocènes. On dit aussi qu'on y rencontre plusieurs mammifères propres à la série de l'Éocène Supérieur, mais il n'existe pas à Eppelsheim de coupe assez bien faite pour montrer la véritable succession des lits d'où les ossements ont été extraits, et il reste encore

FIG. 168. *Paludina* (Mayence).

à savoir si certains débris d'une série plus ancienne n'auraient point été confondus avec ceux d'une série plus nouvelle.

Lignites d'Allemagne. — Dans un travail récent sur les dépôts de Lignites d'Allemagne, le baron de Buch a exprimé formellement l'opinion que tous ces dépôts appartenaient à une seule époque, de date postérieure à la grande période nummulitique, antérieure à celle des formations Pliocènes, et il a donné au tout le nom de Miocène. Par malheur, on trouve rarement dans ces formations d'autres indications chronologiques que celles fournies par les plantes, et celles-ci, toujours réduites à de simples feuilles dépourvues de fleurs et de fruits, ne constituent qu'une fraction de l'ancienne flore. Il est donc très souvent impossible de faire autre chose que des conjectures sur la place précise qu'il convient d'assigner, dans la série chronologique, à chaque lit de lignite ou à chaque couche de feuilles. Néanmoins le dépôt est assez connu pour qu'on puisse décider que certains lambeaux appartiennent à l'Éocène Supérieur, les autres au Miocène, et quelques autres peut-être au Pliocène. Ils paraissent avoir été formés à une époque où la surface de l'Europe avait déjà acquis plusieurs traits de son caractère continental actuel, et où, par conséquent, peu de lits marins ou même fluvio-marins s'y déposaient.

Le Lignite de Brandenburg, sur les bords de la Baltique, est recouvert par l'argile à tuiles de Hermsdorf; il appartient donc à une période au moins aussi ancienne que l'Éocène Supérieur. Sur celui de Radoboj, confins de la Styrie, reposent, dit M. de Buch, des lits qui contiennent les coquilles marines du bassin de Vienne; or, comme ces coquilles appartiennent principalement au type des Faluns ou Miocène, ce Lignite peut être Miocène ou Éocène Supérieur; c'est ce que décideront les caractères botaniques des plantes fossiles. Dans ce dépôt, comme dans la plupart des formations du même nom, abondent plusieurs espèces de palmier éventail ou *Flabellaria*. Ce genre se rencontre encore dans l'Éocène Moyen ou couches de Bembridge, ainsi que

dans la série gypseuse de Montmartre; mais il est encore plus largement représenté dans les séries de l'Éocène Supérieur, où il est accompagné de palmes du genre *Phœnicites*. On trouve aussi à Radoboj des cônes, des feuilles, des débris ligneux de conifères, enfin des feuilles de *Comptonia*, de *Myrica*, de *Plane* (*Platanus*), et de plusieurs plantes de la tribu des Lauriers, particulièrement du *Daphnogene cinnamomifolia* (fig. 169).

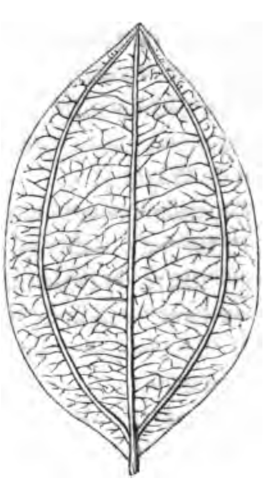


Fig. 169. — *Daphnogene cinnamomifolia* (Altsattel, en Bohême).

Dans la contrée du Rhin Inférieur, dans le bassin de Mayence ou celui des Sept-Collines (Siebengebirge), et dans les environs de Bonn et de Cologne, on observe des Lignites de différents âges. De Buch nous apprend que le seul fossile fourni par le Lignite situé près de Cologne est un fruit ressemblant à une noix de coco, *Nipadites* ou *Burtonia Faujasii* (fig. 220). Ce fossile abonde aujourd'hui dans l'Éocène Inférieur ou Argile de Sheppy près de Londres, et dans l'Éocène Moyen à Bruxelles; je l'ai reconnu aussi à un niveau plus élevé, dans la même série nummulitique, à Cassel, Flandres françaises. Ce seul fait devrait conduire à rapporter le Lignite de Cologne à la période Éocène.

Quelques-uns des Lignites du Siebengebirge près de Bonn, associés à des roches volcaniques, et ceux de Hesse-Cassel qu'accompagnent des éruptions basaltiques, sont certainement d'un âge beaucoup plus moderne.

Couches de l'Éocène Supérieur d'Angleterre. — *Couches de Hempstead* (*île de Wight*). — Jusqu'à ces derniers temps, les géologues anglais avaient regardé les couches tertiaires les plus récentes de Wight comme contemporaines de la série gypseuse de Montmartre; ils s'appuyaient sur ce fait

que les mêmes espèces de *Palæotherium*, *Anoplotherium* et autres mammifères éteints, caractéristiques de la série parisienne, se rencontraient également à Binstead près de Ryde, dans le district septentrional de l'île, et faisaient partie de la série fluvio-marine. Forbes a découvert en cette localité, dans l'automne de 1852, trois formations dont la véritable position a pu être établie, et qui sont plus nouvelles que les couches de Headon-Hill, à Alum-Bay, primitivement considérées comme occupant la partie supérieure de la série tertiaire de l'île de Wight (1).

Ces trois formations se succèdent dans l'ordre suivant :

1° Certains schistes et grès appelés couches de Sainte-Hélène (voy. le tableau, p. 170 et suiv.), reposant immédiatement sur la série de Headon.

2° Couches de Bembridge, équivalentes du Gypse de Montmartre.

3° Au-dessus du tout, l'Éocène Supérieur ou série de Hempstead. Ce dépôt, qui a 50 mètres d'épaisseur, tire son nom de la colline de Hempstead près Yarmouth, île de Wight (2). Voici l'ordre de succession des couches qu'on y a découvertes, et dont les détails sont importants pour les raisons que nous avons expliquées dans les remarques préliminaires de ce chapitre (p. 295).

SOUS-DIVISIONS DE LA SÉRIE DE HEMPSTEAD.

1. Les lits supérieurs ou à *Corbules*, composés de sables marins et d'argiles qui contiennent la *Corbula pisum* (fig. 170), espèce commune à l'argile de

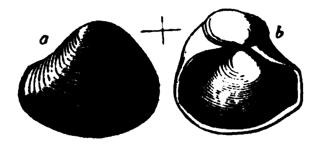
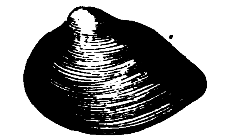


FIG. 170. — *Corbula pisum*, couches de Hempstead (île de Wight).


FIG. 171. — *Cyrena semistriata*, couches de Hempstead.

(1) E. Forbes, *Geol. Quart. Journ.*, 1853.

(2) Cette colline ne doit pas être confondue avec celle de Hampstead, près de Londres, où l'Éocène Inférieur, ou argile de Londres, est recouvert par les sables de l'Éocène moyen.

l'Éocène Moyen de Barton, la *Cyrena semistriata* (fig. 171), autre fossile de l'Éocène Moyen, plusieurs *Cérithes* et diverses coquilles particulières à la série.

2. Immédiatement au-dessous viennent des marnes d'eau douce et d'estuaire, ainsi que des argiles charbonneuses présentant abondamment, dans leur partie formée par l'eau saumâtre, le *Cerithium plicatum*, Lam. (fig. 172), le *C. elegans* (fig. 173), le *C. tricinctum*, et aussi la *Rissoa Chastelii* (fig. 174), coquille très commune du Limbourg, et qu'on rencontre dans chacune des quatre sous-divisions de la série de Hempstead, vers la base, où elle passe aux couches de Bembridge. Dans la portion d'eau douce des mêmes lits on trouve la *Paludina lenta* (fig. 175), coquille que certains conchyliologistes ont identifiée avec une espèce encore vivante, *P. unicolor*, et différentes espèces de *Limnæa*, *Planorbis* et *Unio*.



FIG. 172. *Cerithium plicatum*, Lam. (Hempstead).



FIG. 173. *Cerithium elegans* (Hempstead).

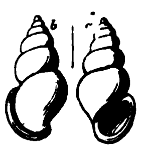


FIG. 174. *Rissoa Chatellii*, Nyst. Sp. Hempstead (île de Wight).



FIG. 175. *Paludina lenta*, couches de Hempstead.

3. Marnes d'eau douce et d'estuaire, moyennes, caractérisées par la présence des *Melania fasciata*, *Paludina lenta* et par des argiles à *Cypris;* le lit inférieur fournit la *Cyrena semistriata* (fig. 171) avec des *Cérithes* et des *Panopées*.

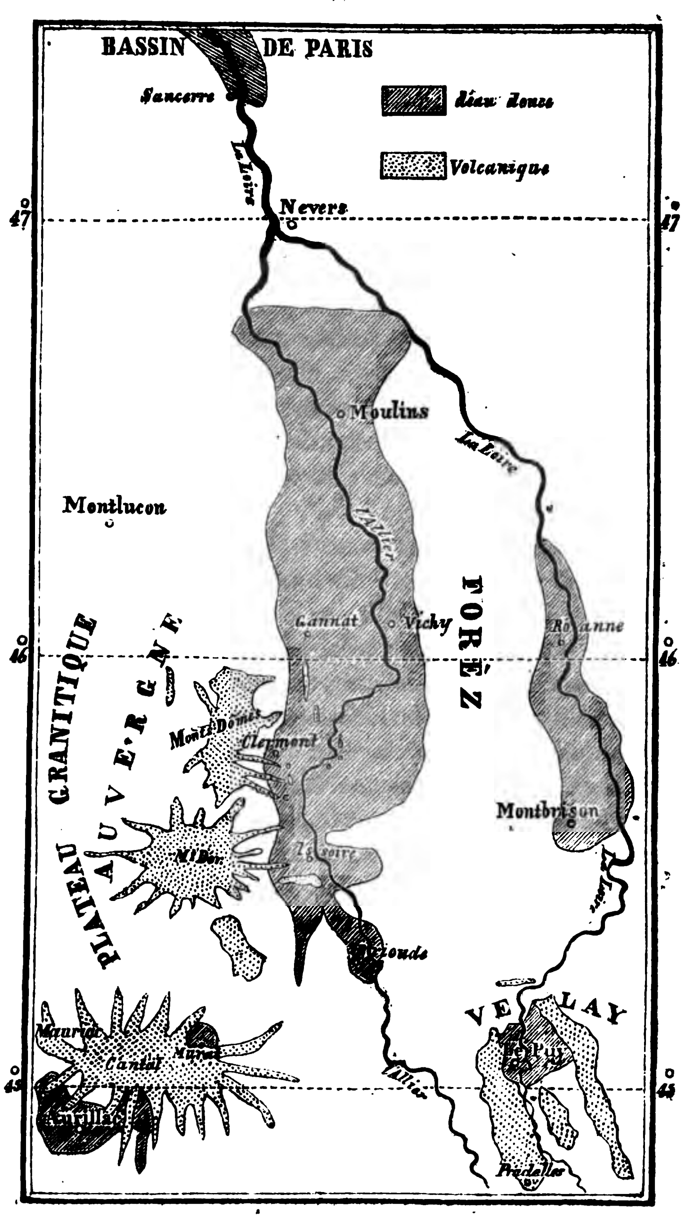
4. Marnes inférieures d'eau douce et d'estuaire, contenant la *Melania costata*, Sow., la *Melanopsis*, etc. Le lit qui occupe la base est charbonneux; on lui a donné le nom de *bande noire;* la *Rissoa Chastelii* (fig. 174) y est commune. Ce lit offre un mélange des coquilles de Hempstead avec celles de l'Éocène Moyen sous-jacent ou série de Bembridge. Les sporanges de *Chara medicaginula*, Brong., et *C. electeras*, caractérisent généralement les lits de Hempstead. Les mammifères, parmi lesquels on cite une espèce d'*Hyotherium*, diffèrent, autant du moins qu'on les connaît, de ceux des lits de Bembridge.

Nous avons établi précédemment qu'il n'existe pas d'hiatus entre les couches de Hempstead et celles qui leur sont inférieures. Les calcaires d'eau douce, d'eau saumâtre et marins, ainsi que les marnes du groupe de Bembridge qui vient au-dessous, sont en stratification concordante et fournissent la *Cyrena semistriata* (fig. 171), la *Melania muricata*, la *Paludina lenta* (fig. 175) et plusieurs autres coquilles qui appartiennent aux couches de Hemsptead. M. le professeur Forbes les classe donc toutes dans la même division de l'Éocène Supérieur.

Couches de l'Éocène Supérieur de France (*Miocène Inférieur de quelques auteurs français*). — Le Grès de Fontainebleau est associé, dans les environs de Paris, à un groupe de couches qui varient beaucoup par leur composition, et contiennent, à leur partie inférieure, une argile verte avec d'abondantes petites huîtres (*Ostrea-cyathula*, Lam.). Les sables et grès marins superposés à cette argile renferment la *Cytherea incrassata* et plusieurs autres fossiles du Limbourg, dont les plus beaux échantillons ont été recueillis dans un sable meuble à Étampes, au S. de Paris. On a quelquefois désigné le Grès de Fontainebleau sous le nom de Sables Marins Supérieurs, pour le distinguer des Sables Moyens ou Grès de Beauchamp, qui appartiennent à l'Éocène Moyen.

Calcaire lacustre Supérieur. — Au-dessus du Grès de Fontainebleau, on voit le Calcaire et la Marne d'eau douce supérieurs, appelés quelquefois Calcaire de la Beauce ; cette formation, par ses marnes et ses lits siliceux, semble avoir été produite dans des marais ou des lacs peu profonds, comme les dépôts modernes qu'on rencontre fréquemment dans les grands deltas. Des lits de silex, continus ou composés de nodules, se sont accumulés dans ces lacs, et des débris de *Chara* accompagnent, dans la marne et le silex, des coquilles d'eau douce et terrestres. Quelques-unes des roches siliceuses de cette formation sont très employées comme pierres à moudre. Les plateaux des collines qui entourent Paris, une portion considérable du sol de la forêt de Fontainebleau, et le plateau de la Beauce entre la Seine et la Loire, sont principalement composés de ces couches supérieures d'eau douce. Lorsqu'elles arrivent à la vallée de la Loire, elles s'enfoncent parfois et forment la limite des Faluns marins Miocènes ; on y rencontre des fragments du calcaire d'eau douce plus ancien, jadis entraînés sur les plages et dans le lit de la mer miocène. A Pontlevoy, certains blocs de Calcaire Éocène présentent des coquilles marines perforantes de la période Miocène, subsistant encore dans les trous qu'elles ont percés.

Fig. 176.


BASSIN DE PARIS
Sancerre
Eau douce
Volcanique
La Loire
Nevers
47
Moulins
La Loire
Montluçon
L'Allier
FOREZ
Gannat
Vichy
Roanne
46
PLATEAU GRANITIQUE
AUVERGNE
Monts Dômes
Clermont
Montbrison
Mt Dor
Issoire
Brioude
La Loire
VELAY
Mauriac
Cantal
Murat
Le Puy
45
Aurillac
L'Allier
Pradelles

Centre de la France. — En Auvergne, dans le Cantal, dans le Velay (voyez la carte d'autre part), on observe de nouveau des couches lacustres appartenant la plupart à la série de l'Éocène Supérieur; ce sont comme les monuments d'anciens lacs, analogues à ceux de la Suisse actuelle, et qui, s'alimentant d'une ou plusieurs rivières-torrents, auraient rempli les dépressions d'une contrée montagneuse. La région où l'on rencontre ces couches est presque entièrement formée de granit et de différentes variétés de schiste granitique, avec quelques lambeaux épars de couches secondaires très disloquées et qui ont probablement souffert de grandes dénudations. On y voit aussi de vastes accumulations de matières volcaniques, plus récentes pour la plupart que les couches d'eau douce sur lesquelles elles reposent quelquefois, mais, sur divers points, évidemment contemporaines de ces mêmes couches.

L'étude des dépôts du centre de la France présente un intérêt tout à fait distinct de celui que peuvent offrir les terrains tertiaires de Paris ou de l'Angleterre. On rencontre en Auvergne des preuves évidentes d'événements d'une grandeur et d'une magnificence extraordinaires, qui ont profondément modifié la forme et les traits primitifs de la contrée, sans cependant les effacer assez complétement pour que l'imagination ne puisse les rétablir au moins en partie.

Par suite de l'émission réitérée de laves, précédées et suivies d'éruptions de cendres et de scories, de grands lacs ont disparu; des montagnes élevées se sont formées; de profondes vallées ont été creusées au travers des masses d'origine lacustre ou volcanique, et, à une date plus rapprochée de nous, de nouveaux cônes ont surgi dans ces vallées; puis, des rivières ayant été barrées, de nouveaux lacs ont pris naissance, et plusieurs créations de quadrupèdes, d'oiseaux et de plantes correspondant à l'Éocène, au Miocène ét au Pliocène, se sont succédé. Et pourtant la région a conservé une telle physionomie géographique, que l'esprit peut encore se retracer les conditions extérieures et la structure physique qu'elle

présentait avant que ces puissants événements se fussent accomplis. Il dut y avoir une première période pendant laquelle des lacs spacieux s'étendaient au pied de montagnes d'élévation moyenne, qui n'offraient encore ni les pics élancés ou les précipices du Mont-Dore, ni les contours pittoresques du Puy-de-Dôme, ni ces cônes et cratères qui couvrent aujourd'hui tout le plateau granitique. Pendant cette première période de repos, des deltas se formèrent lentement; des couches de marne et de sable se déposèrent sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur; des roches siliceuses et calcaires se précipitèrent des eaux de sources minérales; des coquilles et des insectes furent enfouis avec divers débris de crocodiles et de tortues, des œufs et des os d'oiseaux aquatiques, ainsi que des squelettes de quadrupèdes, dont quelques-uns, du même genre que ceux du gypse Éocène de Paris, restèrent ensevelis au sein des couches. A ces conditions tranquilles succédèrent des éruptions volcaniques; les lacs furent mis à sec, et la fertilité du district montagneux augmenta probablement par la matière ignée qui vint d'en bas se répandre sur le granit stérile. Durant ces éruptions, qui paraissent les unes postérieures à la disparition de la faune Éocène Supérieure, les autres contemporaines de la période Miocène, le Mastodonte, le Rhinocéros, l'Éléphant, le Tapir, l'Hippopotame, le Bœuf et différentes sortes de Daim, l'Ours, l'Hyène et divers animaux de proie habitaient les forêts ou paissaient sur la plaine, et se trouvaient parfois exposés à la chute de lapillis brûlants ou à ces inondations de boue que l'on voit aujourd'hui accompagner certaines éruptions volcaniques. Enfin, ces quadrupèdes disparurent et firent place aux mammifères de la période Pliocène, que remplacèrent à leur tour les espèces actuelles. Pendant cette série d'événements, rien n'indique l'intervention de la mer, ni d'autres dénudations que celles produites par l'action des courants lacustres ou des inondations qui accompagnaient les tremblements de terre réitérés, alors que le niveau du sol se trou-

vait modifié sur différents points, et que la contrée tout entière était peut-être exhaussée au-dessus des régions voisines.

Auvergne. — Le groupe d'eau douce le plus septentrional est situé dans la vallée-plaine de l'Allier qui comprend le Puy-de-Dôme et était autrefois désignée sous le nom de Limagne d'Auvergne. Cette vallée est bordée par deux chaînes parallèles, celle du Forez qui partage les eaux de la Loire et de l'Allier du côté de l'Est, et celle des monts Dômes qui sépare l'Allier de la Sioule du côté de l'Ouest (1). Ce district comprend une étendue d'environ 32 kilomètres; il est en grande partie composé de couches presque horizontales de sable, de grès, de marne calcaire, d'argile et de calcaire; aucune de ces couches ne montre un ordre de superposition fixe et invariable. Les masses de granit et d'autres roches qui s'élèvent hardiment au-dessus de la plaine permettent de tracer avec assez de précision les anciens bords du lac dans lequel se sont accumulés les lits d'eau douce. Cependant on aperçoit rarement aujourd'hui la jonction de la formation lacustre et du granit, car ordinairement une petite vallée les sépare. Sur certains points, les couches d'eau douce conservent leur horizontalité à une très petite distance des roches qui forment le bord, tandis que sur d'autres, elles sont inclinées et parfois même verticales. Les divisions principales qu'on peut admettre dans les séries lacustres sont les suivantes : 1° grès, grit et conglomérat, avec marne rouge et grès rouge; 2° marnes feuilletées vertes et blanches; 3° calcaire ou travertin, souvent oolitique; 4° marnes gypseuses.

1, *a. Grès et Conglomérat.* — On rencontre quelquefois, autour du bassin lacustre, des couches abondantes de sable et de gravier sous forme de roche solide; elles contiennent des galets de toutes les anciennes roches de la contrée environnante, telles que granit, gneiss, mica-

(1) Scrope, *Geology of central France*, p. 15.

schiste, schiste argileux, porphyre, etc., mais sans aucun mélange de roches basaltiques ou d'autres roches volcaniques tertiaires. Ces couches ne constituent point une ceinture continue autour du bassin ; elles sont plutôt disposées comme les deltas indépendants qui se forment à l'embouchure des torrents sur les bords des lacs actuels.

A Chamalières, près de Clermont, on observe un exemple de ces deltas, ou dépôts littoraux d'étendue limitée, dans lequel les couches à galets s'inclinent à partir du granit, comme si elles eussent formé jadis un talus sous les eaux du lac près d'un rivage escarpé. Une section verticale de 15 mètres environ de hauteur, produite par un torrent, laisse voir, répandus dans la masse, les cailloux qui consistent en fragments arrondis et angulaires de granit, quartz, schiste primitif et grès rouge. Çà et là apparaissent des bandes partielles de lignite et des tronçons de bois.

Sur quelques points au bord du bassin, on rencontre des grès grossiers (grits) quartzeux, qui, lorsqu'ils reposent sur le granit, sont parfois formés de cristaux séparés de quartz, de mica et de feldspath. Ces cristaux dérivent du granit désagrégé, et ont été plus tard unis par un ciment siliceux. Le granit semble alors avoir pris une forme nouvelle plus solide, et le passage est si graduel entre la roche d'origine cristalline et celle de formation mécanique, qu'on distingue difficilement où l'une finit et où l'autre commence.

Les collines appelées la Roche et le Puy-de-Jussat présentent une coupe non interrompue de 212 mètres de hauteur, à la base de laquelle gisent des marnes feuilletées blanches et vertes, épaisses d'environ 120 mètres ; au-dessus, sont des grès grossiers, quartzeux, cimentés par une matière calcaire, quelquefois si abondante qu'elle forme des nodules empâtés. Sur certains points, ces nodules constituent des concrétions sphéroïdales d'environ 2 mètres de diamètre, et passent à des lits de calcaire solide ressemblant aux travertins italiens ou aux dépôts de sources minérales.

1. *b. Marne et Grès, rouges.* — Le plus remarquable des groupes arénacés est celui qui nous fournit une marne et un grès rouges identiques dans tous leurs caractères minéralogiques avec le Nouveau Grès Rouge et la Marne Secondaire d'Angleterre. Dans ces roches secondaires, le sol rouge est quelquefois nuancé de légères teintes verdâtres, circonstance qui se reproduit dans la formation tertiaire d'eau douce de Coudes sur l'Allier. Les marnes sont quelquefois d'une couleur rouge pourpre, comme à Champéix, et accompagnées d'un calcaire rougeâtre comme le *cornstone* associé au Vieux Grès Rouge des géologues anglais. Les Grès et Marne rouges d'Auvergne proviennent évidemment de la détérioration du gneiss et du micaschiste qui existent en place sur les collines voisines, et se transforment en un sol tout à fait semblable aux Grès et Marne rouges tertiaires. On trouve aussi dans les grès plus grossiers de ce groupe des galets de gneiss, de micaschiste et de quartz, détachés des mêmes roches que le sable et la marne. Les couches rouges, bien que dépourvues de débris organiques, passent supérieurement à des couches contenant des fossiles tertiaires et appartenant sans aucun doute à la formation lacustre.

2. *Marnes feuilletées vertes et blanches.* — Les roches primitives d'Auvergne qui, par la décomposition partielle de leurs parties les plus dures, ont donné lieu aux grès et aux

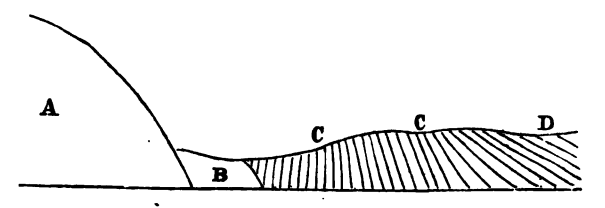


FIG. 177. — Couches verticales de Marne, à Champradelle, près Clermont.
A. Granit. — B. Espace de 18 mètres où l'on ne voit pas de coupe. — C. Marne verte, verticale et inclinée, — D. Marne blanche.

conglomérats quartzeux, peuvent aussi, par la réduction des mêmes matières à l'état pulvérulent, et par la dégrada-

tion de leur Feldspath, Mica et Hornblende, avoir produit de l'argile alumineuse, et même une marne calcaire, si elles contenaient une quantité suffisante de carbonate de chaux. Ce sédiment fin aurait été naturellement transporté à une certaine distance de la plage, comme les marnes fines qui se déposent aujourd'hui dans le lac Supérieur, et, de même que, dans le lac d'Amérique, des cailloux et du sable s'accumulent annuellement près du bord septentrional, de même, en Auvergne, les grès et conglomérats se seraient évidemment formés près des bords.

L'épaisseur totale de ces marnes est inconnue, mais en quelques endroits elle dépasse certainement 213 mètres. La roche est habituellement blanche ou verdâtre. Le carbonate de chaux y domine. Elle est disposée en feuillets très minces, caractère qui résulte fréquemment de la présence d'innombrables coquilles ou carapaces très ténues d'un petit animal appelé *Cypris*. Cet animal, pourvu de deux petites valves assez semblables à celles d'une coquille bivalve, perd ses téguments par une mue périodique, ce qui n'arrive pas aux mollusques conchifères. L'existence de ces myriades de *Cypris* dans les anciens lacs d'Auvergne explique comment la marne s'est trouvée divisée en lames aussi minces que des feuilles de papier, et cela dans des masses stratifiées de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. On ne saurait trouver une preuve plus convaincante de la tranquillité et de la limpidité des eaux, ainsi que du processus lent et graduel par lequel le lac s'est rempli de vase fine. On peut aisément admettre encore que, pendant le dépôt de ce sédiment fin dans les parties profondes et centrales du bassin, du gravier, du sable et des fragments de roches étaient entraînés dans le lac et s'y accumulaient près du rivage, donnant ainsi naissance au groupe décrit précédemment.

Non loin de Clermont, des marnes vertes, contenant des *Cypris* en abondance, ne sont qu'à quelques mètres du granit qui forme les bords du bassin. La présence de ces marnes aussi près de l'ancien rivage peut s'expliquer par cette con-

sidération qu'au fond du lac primitif, entre les embouchures des rivières et des torrents, les courants n'amenèrent qu'un limon fin. La *verticalité* de quelques-uns des lits témoigne d'un dérangement local considérable et postérieur au dépôt des marnes; mais de telles couches inclinées et verticales sont très rares.

3. *Calcaire*, *Travertin*, *Oolite*. — Les deux membres précédents du dépôt lacustre, c'est-à-dire les marnes et les grès, passent accidentellement à un calcaire; quelquefois on y rencontre seulement de nombreux nodules concrétionnés, mais, lorsque la matière calcaire augmente, ces nodules s'unissent en lits réguliers.

De chaque côté du bassin de la Limagne, à l'Ouest vers Gannat et à l'Est vers Vichy, on exploite un calcaire blanc oolitique. A Vichy, l'oolite ressemble, pour l'apparence et la qualité, à notre pierre de Bath, et, comme elle, tendre au sortir de la carrière, elle ne tarde pas à durcir par son exposition à l'air. A Gannat, la pierre contient des coquilles terrestres et des os de quadrupèdes. A Chadrat, dans la colline de la Serre, le calcaire est pisolitique, et les petits sphéroïdes présentent à la fois la structure rayonnée et la structure concentrique.

Calcaire à Induses. — On connaît encore en Auvergne une autre forme remarquable de calcaire d'eau douce : c'est le *Calcaire à Induses*, qui doit ce nom aux étuis ou *induses* de larves de *Phryganes* qu'il contient; de gros monticules de matières ont été incrustés sur place par le carbonate de chaux et transformés en travertin très dur. La roche est quelquefois du calcaire pur; sur divers points, elle est mélangée de matière siliceuse dont on voit fréquemment plusieurs lits se suivre, soit en masses continues, soit en nodules concrétionnés; ces lits sont superposés les uns aux autres et entremêlés de bandes de marne. La coupe ci-contre, prise à la base de la colline de Gergovia (fig. 178), montre l'une de ces couches à Induses *a*, entre les marnes *bb*; elle indique en même temps les dénudations qu'ont dû subir les couches

lacustres qui remplissaient jadis des dépressions, et comment elles ont été façonnées en collines et vallées autour d'anciens lacs.

Nous observons souvent dans nos étangs la larve de la *Phrygane* couverte de petites coquilles d'eau douce qu'elle a la faculté de fixer à l'extérieur de ses fourreaux tubulaires,



FIG. 178. — Couche de calcaire à Induses, dans les marnes d'eau douce, près Clermont (Kleinschrod).

probablement pour leur donner du poids et de la solidité. L'individu représenté dans la figure 179, et qui appartient à une espèce très commune en Angleterre, a recouvert son enveloppe de coquilles d'une petite *Planorbe*. Une grande espèce de Phrygane qui fréquentait les lacs Éocènes d'Auvergne s'attachait les coquilles d'une petite univalve spiriforme du genre *Paludina*. On voit quelquefois une centaine de ces coquilles disposées autour d'un tube dont la portion centrale reste souvent vide, tandis que l'autre partie est remplie de couches minces concentriques de travertin. Les tubes sont disposés confusément et parfois même à angle droit les uns par rapport aux autres, comme dans la

figure 180. Si l'on réfléchit que jusqu'à dix ou onze de ces tubes sont entassés dans un espace de 25 millimètres cubes, que certaines couches de ce calcaire mesurent plus de 2 mètres d'épaisseur et s'étendent sur un espace considérable, on



FIG 179. — Larve de Phrygane récente (1).

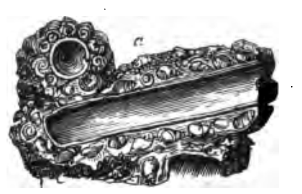




FIG. 180. — *a.* Calcaire à Induses, d'Auvergne. *b. Paludine* fossile, grossie.

se fera une idée du nombre infini d'insectes et de mollusques qui ont contribué par leurs téguments et leurs coquilles à former cette roche d'une structure si singulière. Il n'est pas nécessaire de supposer que les Phryganes ont vécu sur les lieux mêmes où l'on trouve aujourd'hui leurs enveloppes; elles ont pu multiplier dans des endroits peu profonds, près des bords d'un lac ou dans les ruisseaux qui l'alimentaient, et leurs dépouilles auront été entraînées au loin par le courant.

Dans l'été de 1837, en examinant avec le docteur Beck un petit lac près de Copenhague, j'ai constaté un magnifique exemple de la manière dont s'est probablement produite l'accumulation des fourreaux tubulaires d'Auvergne. Ce lac, appelé le Fuure-Soe, situé à l'intérieur de l'île de Seeland, présente environ 32 kilomètres de circonférence et, sur quelques points, 60 mètres de profondeur. Tout autour de ses bords peu profonds croissent abondamment des roseaux et des joncs couverts d'induses de la *Phryganæa grandis* et d'autres espèces auxquelles les coquilles adhèrent. Les plantes sont le *Scirpus lacustris* et le roseau commun (*Arundo phragmites*), mais principalement le premier. En été, au mois de juin surtout, de violents coups de vent déterminent parfois un courant plus rapide; les plantes

(1) Je pense que l'échantillon anglais figuré ici se rapporte à la *P. rhombica*, Linn.

sont renversées avec leurs racines, entraînées par les eaux, et vont flotter en longues bandes qui ont quelquefois plus de 2 kilomètres.

La *Cypris* habite le même lac, et il n'y manque que des sources calcaires pour former des couches à Induses semblables à celles d'Auvergne.

4. *Marnes gypseuses.* — A Saint-Romain, rive droite de l'Allier, on exploite pour le gypse une masse de marne gypseuse en lames minces, qui a plus de 15 mètres d'épaisseur. Elle repose sur une série de marnes vertes à Cypris alternant avec le grès grossier; l'épaisseur totale, reconnue dans un escarpement vertical ouvert sur les bords de la rivière, dépasse 76 mètres.

Disposition générale, origine et âge des formations d'eau douce d'Auvergne. — Les rapports entre les groupes que nous venons de décrire ne sauraient être bien clairement rendus par l'étude d'une seule coupe; aussi le géologue qui s'attendrait à trouver un ordre fixe de succession s'étonnera peut-être de voir différentes parties du bassin donner des résultats contradictoires.

La division arénacée, les marnes et le calcaire, se rencontrent tous sur certains points, alternant les uns avec les autres; ici, par conséquent, on ne saurait nier l'existence d'un arrangement régulier. Généralement les sables, le grès et le conglomérat constituent un groupe littoral; les marnes feuilletées, blanches et vertes, forment un dépôt central contemporain; le carbonate de chaux est presque toujours subordonné aux portions les plus nouvelles des deux groupes précédents. Les marnes et sables supérieurs sont plus calcaires que les inférieurs, et jamais on ne rencontre de roches calcaires couvertes par une épaisseur considérable de sable quartzeux ou de marne verte. D'après leur ressemblance avec les travertins d'Italie, ces roches doivent évidemment leur formation aux eaux de sources minérales analogues à celles que l'on voit encore aujourd'hui en Auvergne sortir du granit et précipiter du travertin. Ces sources sont quelquefois ther-

males, mais ce caractère n'est pas constant. A l'époque où l'ancien lac de la Limagne commença à se remplir de sédiment, les actions volcaniques n'avaient probablement encore produit des laves et des scories sur aucun point de la surface de l'Auvergne. Aucun galet de lave n'avait par conséquent pénétré dans le lac, aucun fragment de roche volcanique n'avait été enfoui dans le conglomérat; mais, postérieurement à l'accumulation d'une épaisseur considérable de grès et de marne, des éruptions eurent lieu, et des laves et tufs vinrent alterner sur certains points avec des couches lacustres. Pendant les convulsions successives qui précédèrent le développement de l'action volcanique, les sources froides ou thermales tenant différents principes en dissolution, purent devenir plus nombreuses et multiplier les dépôts de carbonate et de sulfate de chaux, de silex et d'autres matières minérales; cette hypothèse expliquerait aussi la prédominance de ces matières dans les couches supérieures. Les mouvements souterrains modifièrent ensuite les niveaux relatifs de la contrée, mirent les lacs à sec et empêchèrent toute accumulation ultérieure de couches d'eau douce régulières.

Des événements semblables, accompagnés de résultats analogues, se produisent dans tout bassin moderne, dans celui du lac Supérieur, par exemple, où de nombreuses rivières et des torrents viennent apporter les détritus d'une chaîne de montagnes. Les matières transportées s'y déposent suivant leur volume et leur poids, les plus grossières près du bord, les plus fines à une grande distance de la terre. Dans les couches graveleuses et sableuses du lac Supérieur, on ne remarque aucun galet de roches volcaniques modernes parce qu'il n'existe aujourd'hui dans le pays aucune de ces roches; cependant, si l'action ignée venait à s'y manifester, et à donner naissance à des laves, à des scories et à des sources thermales, cette action n'interromprait pas le dépôt de gravier, de sable et de marne, mais elle le mélangerait de tuf volcanique et de roches précipitées des eaux de sources minérales.

Bien que les couches d'eau douce de la Limagne affectent sensiblement une position horizontale, les preuves d'une dislocation locale y sont suffisamment nombreuses et concluantes pour nous permettre de supposer que de grands changements de niveau ont eu lieu depuis la période Lacustre. On ne saurait déterminer les limites Nord de l'ancien lac, tandis qu'à l'Est, à l'Ouest et au Sud, ces limites sont figurées par de hautes éminences granitiques; mais, après une aussi grande série d'éruptions volcaniques, nous ne devons pas nous étonner de notre impuissance à restaurer entièrement la géographie physique de la contrée; est-il donc improbable qu'une portion du pays, la portion méridionale par exemple, se soit élevée en masse, tandis que d'autres points seraient restés en repos ou même auraient subi un mouvement d'abaissement?

Que toutes les formations d'eau douce de la Limagne appartiennent à une seule période, c'est ce que je ne prétends pas décider, car des masses considérables de groupes, arénacés ou marneux, sont souvent dépourvues de fossiles. Quelques marnes et sables très anciens, ou tout à fait inférieurs, pourraient être rapportés à l'Éocène Moyen. Les travaux de MM. Bravard et Croizet, et ceux de M. Pomel, ont jeté beaucoup de jour sur la faune mammifère de ces formations. Ce dernier naturaliste a fait ressortir les différences incontestables qui séparent toutes ou presque toutes les espèces mammifères de celles de la série gypseuse des environs de Paris, bien que plusieurs des formes soient analogues à celles des quadrupèdes de l'Éocène. Le *Cainotherium*, par exemple, n'est pas très éloigné de l'*Anoplotherium*, et se confond suivant Waterhouse avec le genre *Microtherium* des Allemands. On y compte deux espèces de Marsupiaux voisins du *Didelphys*, genre que l'on a rencontré aussi dans le gypse de Paris, et plusieurs formes de ruminants de genres éteints, tels qu'*Amphitragulus elegans* de Pomel, qui a été identifié avec une espèce rhénane de Weissenau près de Mayence, appelée par Kaup *Dorcatherium nanum;* d'autres fossiles, par exemple le *Microtherium Reuggeri*, et un petit

rongeur, *Titanomys*, sont aussi spécifiquement les mêmes que des mammifères du bassin de Mayence. Le *Hyænodon*, genre très remarquable de carnivores, y compte plus d'une espèce, et le plus ancien représentant du genre *Machairodus* a été découvert au sein de ces couches d'Auvergne. L'*Hyænodon* se rencontre aussi avec des paléothériums dans les marnes de l'Éocène Moyen d'Angleterre, au rocher de Hordwell, Hampshire, beaucoup au-dessous du niveau du calcaire de Bembridge. En somme, c'est avec raison qu'une grande portion des roches de la Limagne a été rapportée par les géologues français à leur Tertiaire Moyen, et à la division de celui-ci que nous avons appelée Éocène Supérieur.

Cantal. — Dans le département de la Haute-Loire, près de la ville du Puy en Velay, il existe une formation d'eau douce du même âge à peu près que celle d'Auvergne et qui lui est très analogue; une autre se rencontre dans le Cantal, près d'Aurillac. Le trait le plus saillant qui distingue cette dernière formation de celle de l'Auvergne et du Velay, est l'abondance du silex associé aux marnes calcaires et au calcaire.

La série entière peut se diviser en deux : portion inférieure, composée de gravier, de sable et d'argile dus à l'usure et à la décomposition des schistes granitiques de la contrée environnante ; portion supérieure, consistant en marne siliceuse et calcaire, et contenant, comme roches subordonnées, du gypse, du silex et du calcaire.

La ressemblance du calcaire d'eau douce du Cantal et du silex qui l'accompagne, avec la craie supérieure d'Angleterre, nous fournit une nouvelle preuve de l'inconvénient qu'il y aurait à donner une importance exclusive au caractère minéralogique comme critérium de l'âge relatif des formations.

Lorsqu'on approche d'Aurillac du côté de l'Ouest, on traverse de longues plaines remplies de bruyères où le stérile micaschiste nourrit une végétation chétive. Près d'Ytrac, entre La Capelle et Viscamp, le sol est parsemé de silex brisés dont quelques-uns sont noirs intérieurement avec une enveloppe extérieure blanche, et d'autres sont colorés de jaune

et de rouge, absolument comme ceux du gravier à silex de nos districts crayeux. L'aspect de ces monticules annonce une nouvelle formation, et l'on arrive bientôt, en effet, à un escarpement de couches lacustres. Au pied de la oolline s'étendent des couches d'argile et de sable reposant sur le micaschiste, et au-dessus, dans les carrières de Belbet, Leybros et Bruel, on observe un calcaire blanc en couches horizontales, dont la surface a été creusée de sillons irréguliers remplis par des silex brisés, de la marne et une terre noire végétale. Ces sillons présentent une contre-partie exacte de ceux qui couvrent la surface de la craie blanche en Angleterre. Après ces carrières, en suivant une route formée de calcaire blanc, qui reflète aussi vivement les rayons du soleil que nos routes taillées dans la craie, on rencontre, près d'Aurillac, des collines de calcaire et de marne calcaire en couches horizontales, séparées en quelques endroits par des lits réguliers de silex en nodules dont l'enveloppe est d'un blanc opaque comme celle des nodules siliceux de la Grande-Bretagne.

L'abondant tribut de matières siliceuses, calcaires, gypseuses que recevaient les anciens lacs de France peut avoir eu quelque connexion avec l'action volcanique souterraine dont ces régions ont été pendant si longtemps le théâtre, et qui aurait imprégné les sources de matières minérales, même avant la grande sortie des laves. On sait que les sources chaudes d'Islande et d'autres pays contiennent de la silice en dissolution, et l'on a dernièrement constaté que la vapeur à une haute température dissout les roches quartzeuses sans l'aide d'aucun alcali ou d'un flux quelconque (1). L'eau chaude chargée de matières siliceuses dépose une partie de la silice dès que sa température s'abaisse au contact des eaux froides d'un lac.

Si l'on examine superficiellement le calcaire blanc et le silex d'Aurillac, on admet tout d'abord que la roche est du même âge que la craie blanche d'Europe; mais, lorsque du

(1) *Proceed. of Royal Soc.*, n° 44, p. 233.

facies minéralogique et de la composition, on passe aux fossiles, on trouve dans le silex du Cantal des tubes à graines du *Chara* d'eau douce au lieu des zoophytes marins si fréquents dans les silex de la craie, et, dans le calcaire, des coquilles de *Limnæa*, *Planorbis* et autres genres lacustres.

Preuves d'un dépôt graduel. — Certaines coupes des marnes feuilletées de la vallée du Cer, près d'Aurillac, prouvent de la manière la moins équivoque l'extrême lenteur avec laquelle se sont accumulées les matières des séries lacustres. Dans la colline de Barrat, par exemple, on remarque un assemblage de marnes calcaires et siliceuses dans lequel, à une profondeur de 18 mètres au moins, les feuillets sont si minces, qu'on en compte quelquefois jusqu'à trente dans une épaisseur de 3 à 4 centimètres; lorsqu'on sépare ces feuillets, on rencontre parfaitement conservées des tiges aplaties de *Chara* ou autres plantes, et parfois des myriades de petites *Paludines* et autres coquilles d'eau douce.

Ces feuillets, dont la nuance varie entre le blanc, le vert et le brun, peuvent être groupés en lits de 3 à 5 décimètres d'épaisseur, et distingués entre eux par des différences de couleur et de composition. Parfois un feuillet épais de 25 millimètres environ est formé de pur silex; d'autres fois il consiste en matière végétale charbonneuse, noire, ou en marne blanche pulvérulente. Aux environs d'Aurillac, plusieurs collines composées de ces sortes de matières mesurent plus de 60 mètres d'élévation à partir de leur base; le tout est quelquefois recouvert de courants consolidés de laves trachytiques ou basaltiques (1).

Ces infiniment petits sont les parties séparées dont se composent quelques-uns des monuments géologiques les plus grandioses! Pour les classer, il est nécessaire d'embrasser dans un ensemble des groupes entiers de couches; mais, pour comprendre leur mode de formation et expliquer leur ori-

(1) Lyell et Murchison, *Sur les dépôts Lacustres, Tertiaires, du Cantal*, etc. (*Ann. des sc. nat.*, oct. 1829).

gine, il convient de descendre aux petites sous-divisions dont chaque masse est composée; il faut calculer combien de minces feuillets, contenant chacun les débris de myriades de testacés et de plantes, entrent dans la composition d'une seule couche, et de quelle immense succession de ces couches un seul groupe est formé! Il faut se rappeler aussi que des amas de matières volcaniques tels que le Plomb du Cantal, sont eux-mêmes le résultat d'accumulations successives consistant en lits multipliés de lave, de scories et de fragments rejetés par les éruptions. Enfin on ne doit pas perdre de vue que les continents et les chaînes de montagnes, malgré leurs dimensions colossales, ne sont qu'un assemblage de plusieurs groupes ignés ou aqueux semblables aux précédents, formés successivement pendant un laps de temps infini et superposés les uns aux autres.

Bordeaux, *Aix*. — Suivant M. Raulin, les couches de l'Éocène Supérieur sont représentées dans le bassin de Bordeaux par le Falun de Léognan et le Calcaire qui gît au-dessous, à Saint-Macaire. Toutefois plusieurs géologues considèrent les couches de Léognan comme n'étant pas plus anciennes que les faluns de Touraine. Les couches d'eau douce d'Aix en Provence appartiennent probablement à l'Éocène Supérieur; il en serait de même des roches tertiaires de Malte, de Crète, de Cerigo et de plusieurs points de la Grèce et du littoral de la Méditerranée.

Nebraska, *États-Unis*. — Dans le territoire de Nebraska, sur le Missouri supérieur, près de la rivière Platte, à une latitude de 42° N., on rencontre une formation tertiaire consistant en calcaire blanc, marne et argile siliceuse; le docteur Dale Owen l'a décrite (1) : on y a trouvé de nombreux ossements de quadrupèdes éteints et des formes de chéloniens terrestres ou d'eau douce. Parmi les fossiles, le docteur Leidy a reconnu un *Palæotherium* gigantesque plus grand qu'aucune des espèces parisiennes; plusieurs espèces

(1) David Dale Owen, *Geol. Survey of Wisconsin*, etc., Philadelphie, 1852.

du genre nouveau *Orcodon*, Leidy, réunissant les caractères des pachydermes et des ruminants; l'*Eucrotaphus*, autre genre nouveau du même caractère mixte; deux espèces de rhinocéros du sous-genre *Acerotherium*, forme de l'Éocène Supérieur d'Europe dont nous avons déjà parlé; deux espèces d'*Archæotherium*, pachyderme allié au *Chœropotamus* et à l'*Hyracotherium*; le *Pœbrotherium*, ruminant éteint, voisin du *Dorcatherium*, Kamp; l'*Agriochœgus* de Leidy, ruminant qui se rapproche du *Merycopotamus* de Falconer et Cautley; et enfin un grand animal carnivore du genre *Machairodus*, dont l'exemple le plus ancien en Europe se rencontre dans les couches de l'Éocène Supérieur d'Auvergne. Les tortues sont classées dans le genre *Testudo*, mais elles ont quelque affinité avec l'*Emys*. En somme, les auteurs américains rapportent cette formation à la période Éocène, comme je l'ai fait moi-même, mais elle devrait être appelée Miocène Inférieure par ceux qui appliquent ce mot à toutes les couches plus nouvelles que le gypse de Paris.

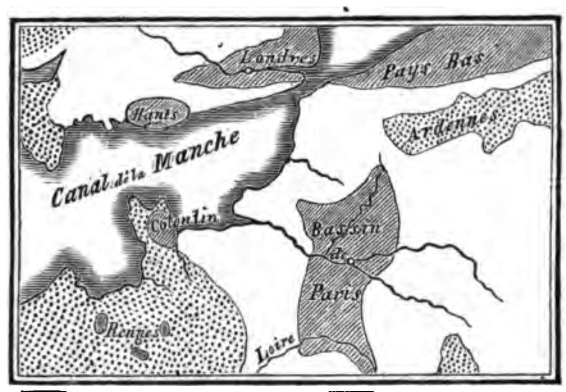
CHAPITRE XVI.

FORMATIONS ÉOCÈNE MOYEN ET ÉOCÈNE INFÉRIEUR.

Couches de l'Éocène Moyen d'Angleterre. — Série fluvio-marine de l'île de Wight et du Hampshire. — Groupes successifs de Mammifères Éocènes. — Fossiles de l'Argile de Barton. — Coquilles, Nummulites, poissons et reptiles des lits de Bagshot et de Bracklesham. — Couches de l'Éocène Inférieur d'Angleterre. — Végétaux fossiles et coquilles de l'Argile propre de Londres. — Couches de Kyson, Suffolk. — Singe fossile et opossum. — Argiles plastiques et sables. — Sable de Thanet. — Formation de l'Éocène Moyen de France. — Série gypseuse de Montmartre et quadrupèdes éteints qu'elle contient. — Calcaire grossier. — Miliolites. — Éocène Inférieur, en France. — Formations nummulitiques d'Europe et d'Asie. — Leur vaste étendue. — On doit les rapporter à la période de l'Éocène Moyen. — Couches Éocènes aux États-Unis. — Coupe à Claiborne, Alabama. — Cétacé gigantesque. — Calcaire à Orbitoïdes. — Burr Stone (pierre à moudre).

Les couches qui viennent ensuite dans l'ordre descendant sont celles que j'appelle Éocène Moyen. J'ai tracé dans la


FIG. 181. — Carte des principaux bassins tertiaires de la période Éocène.



Roches hypogènes et couches plus anciennes que le Devonien, ou série du Vieux Grès Rouge. — Formations Éocènes.

N. B. L'espace laissé en blanc est occupé par les formations secondaires, depuis le Devonien ou Vieux Grès Rouge, jusqu'à la Craie inclusivement.

carte ci-dessus la position de plusieurs surfaces Éocènes,

telles que le bassin de la Tamise, une partie du Hampshire, un fragment des Pays-Bas et les environs de Paris. Les trois dernières régions contiennent quelques-unes des formations marine et d'eau douce dont il a été question dans l'Éocène Supérieur, mais leur étendue superficielle dans cette partie de l'Europe est insignifiante.

Formations de l'Éocène Moyen d'Angleterre. — Le tableau suivant montre l'ordre de succession des couches que l'on a rencontrées dans les régions tertiaires communément appelées bassins de Londres et du Hampshire. (Voyez aussi le tableau, page 170 et suivantes.)

	Épaisseur. Mètres.
Éocène Supérieur.	
A. Couches de Hempstead (île de Wight), voyez ci-dessus, p. 307...	56
Éocène Moyen.	
B. 1. Série de Bembridge (côte nord de l'île de Wight)............	35
B. 2. Série d'Osborne, ou de Sainte-Hélène (*ibid.*)...............	30
B. 3. Série de Headon (île de Wight), et Hordwell, Hants..........	51
B. 4. Sables de la colline de Headon, Argile de Barton (île de Wight), et Barton Cliff, Hants..................................	91
B. 5. Sables et Argiles de Bagshot et de Bracklesham (bassins de Londres et de Hants).................................	213
Éocène Inférieur.	
C. 1. Argile propre de Londres et couches de Bognor (bassins de Londres et de Hants)...............................	116 à 150
C. 2. Argiles plastiques ou à modeler et Sables, série de Woolwich et de Reading (bassins de Londres et de Hants)............	30
C. 3. Sables de Thanet (Reculvers, Kent et partie orientale du bassin de Londres)..	27

La véritable position des Sables de Bagshot, B. 5., dans la série ci-dessus, et des sables de Thanet, C. 3., a été pour la première fois établie par M. Prestwich en 1847 et 1852. Celle des couches de Hempstead, A., de Bembridge, B. 1., et des séries d'Osborne ou de Sainte-Hélène, B. 2., n'avait point été reconnue d'une manière satisfaisante jusqu'à l'époque où le professeur Forbes l'étudia dans ses détails (1852).

Série de Bembridge, B. 1. — Ces couches ont plus de

30 mètres d'épaisseur, et comme nous l'avons établi (p. 301), elles passent dans leur partie supérieure aux couches de Hempstead avec lesquelles leur stratification est concordante près de Yarmouth, dans l'île de Wight. Elles consistent en marne, argile et calcaire d'eau douce, saumâtre ou marine. Quelques-unes des coquilles les plus abondantes, telles que *Cyrena semistriata* var. et *Paludina lenta* (fig. 175), sont communes à ces couches ainsi qu'à la série de Hempstead qui les recouvre. Voici les sous-divisions qu'a décrites le professeur Forbes :

a. Marnes supérieures caractérisées par l'abondance de la *Melania turritissima*, Forbes (fig. 182).

b. Marne inférieure caractérisée par le *Cerithium mutabile*, la *Cyrena pulchra*, etc., et par des débris de *Trionyx* (fig. 183).



FIG. 182. — *Melania turritissima*, Forbes (Bembridge).



FIG. 183. — Portion de carapace de *Trionyx*, couches de Bembridge (île de Wight).

c. Marne verte où abonde souvent une espèce particulière d'huître, accompagnée de *Cérithes*, de *Moules*, d'une *Arca* et d'une *Nucula*, etc.

d. Calcaires de Bembridge, compactes, couleur de crème, alternant avec des marnes et des schistes dans lesquels toutes les coquilles d'eau douce sont



FIG. 184. — *Bulimus ellipticus*, Sow ; demi-grandeur naturelle. (Calcaire de Bembridge.)



FIG. 185.— *Helix occlusa*, Edwards. (Calcaire de Sconce, île de Wight.)

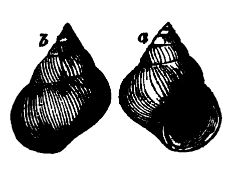


FIG. 186. — *Paludina orbicularis*. (Bembridge.)

communes, spécialement à Sconce près de Yarmouth. Ces coquilles ont été décrites par M. Edwards ; les plus connues sont le *Bulimus ellipticus* (fig. 184) et l'*Helix occlusa* (fig. 185). La *Paludina orbicularis* (fig. 186) y est aussi fréquente. L'un des bancs est rempli d'une petite *Paludine* globulaire. Parmi les coquilles d'eau douce à respiration pulmonaire, la *Limnæa longiscata* (fig. 188)



Fig. 187. — *Planorbis discus*, Edwards. (Bembridge.) Demi-diamètre.




Fig. 188. — *Limnæa longiscata*, Brard.



Fig. 189. — *Chara tuberculata*. Calcaire de Bembridge (île de Wight).

et le *Planorbis discus* (fig. 187) sont celles que l'on y rencontre le plus ordinairement ; la dernière représente ou remplace le *Planorbis evomphalus* (fig. 192) de la série plus ancienne de Headon. Le *Chara tuberculata* (fig. 189) est la gyrogonite la plus caractéristique de Bembridge.

Le docteur Mantell a extrait de cette formation, sur la plage de Whitecliff Bay, un bel échantillon de Palmier-éventail (*Flabellaria Lamanonis*, Brong.), plante qui avait été déjà trouvée dans les couches correspondantes des environs de Paris. On range dans cette sous-division la pierre à bâtir bien connue de Binstead près de Ryde, calcaire percé de nombreux trous produits par des *Cyrenæ* qui ont disparu et laissé les moules de leurs coquilles. Dans la même pierre, MM. Pratt et Rév. Darwin Fox ont, les premiers, découvert des débris des mammifères caractéristiques de la série gypseuse de Paris, tels que *Palæotherium magnum* (fig. 191), *P. medium*, *P. minus*, *P. minimum*, *P. curtum*, *P. crassum*, et aussi l'*Anoplotherium commune* (fig. 190), *A. secundarium*, *Dichobune cervicum* et *Chœropotamus Cuvieri*. Le genre *Palæotherium*



Fig. 190.—Molaire inférieure, grandeur naturelle, d'*Anoplotherium commune*. Binstead (île de Wight).

ressemblait au Tapir actuel par la forme de la tête et par la courte trompe dont il était muni; mais ses dents molaires ressemblaient davantage à celles du Rhinocéros (fig. 190). Le *Palæotherium magnum* était de la grosseur d'un cheval; sa hauteur était de 1 mètre à 1^{m},25. La figure 191 est une restauration de l'animal vivant essayée par Cuvier d'après

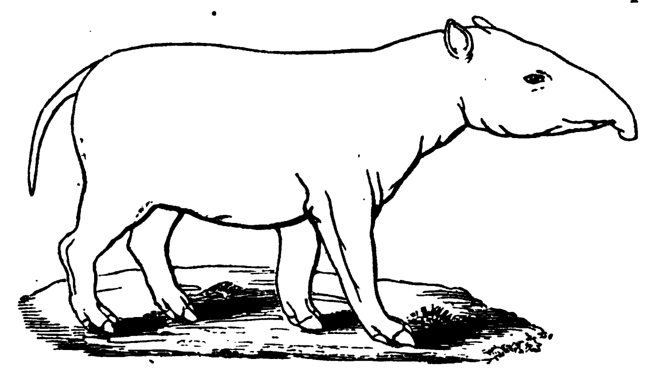


FIG. 191. — *Palæotherium magnum*, Cuvier.

l'étude du squelette. Si le nombre des espèces particulières de quadrupèdes, autant du moins que nous le connaissons, est beaucoup plus restreint dans le sens vertical que celui des espèces testacées, la présence à Binstead d'espèces aussi nombreuses s'accordant avec les fossiles du gypse de Paris, vient corroborer les preuves que nous fournissent les coquilles et les plantes de la contemporanéité des deux formations.

Série d'Osborne ou de Sainte-Hélène, B. 2. — Ce groupe est d'origine d'eau douce ou d'eau saumâtre, et varie beaucoup dans son épaisseur et ses caractères minéralogiques. Près de Ryde il fournit une pierre de taille très recherchée pour la bâtisse, et appelée par M. Forbes grès (*Grit*) de Nettlestone. Ailleurs on rencontre une ardoise à surface ondulée, et des roches avec traces de fucoïdes. Les couches d'Osborne sont caractérisées par des espèces particulières de *Paludina*, *Melania*, *Melanopsis* et *Cypris*, ainsi que par des grains de *Chara*.

Série de Headon, B. 3. — On observe les couches de cette

série à l'extrémité Est et à l'extrémité Ouest de l'île de Wight et dans les rochers (cliffs) de Hordwell, Hants. Partout la *Planorbis evomphalus* (fig. 192) caractérise les dépôts d'eau douce, de même que la forme voisine *P. discus* (fig. 187) carac-



FIG. 192. — *Planorbis evomphalus*, Sow. (Headon Hill), demi-diamètre.


FIG. 193. — *Helix labyrinthica*, Say. Headon Hill (île de Wight), et Hordwell Cliff (Hants); se rencontre aussi à l'état vivant.

térise le calcaire de Bembridge. Les couches d'eau saumâtre contiennent les *Potomomya plana*, *Cerithium mutabile* et *C. cinctum* (fig. 44); les couches marines contiennent la *Venus* (ou *Cytherea*) *incrassata*, espèce commune aux couches du Limbourg et au grès de Fontainebleau, c'est-à-dire à la série de l'Éocène supérieur. La prédominance des restes organiques d'eau salée devient bien plus remarquable dans quelques-unes des parties centrales de la formation. M. T. Webster a divisé tout l'ensemble en groupe d'eau douce inférieur, groupe marin supérieur et groupe d'eau douce supérieur.

Parmi les coquilles largement distribuées dans la série de Headon, on cite les *Neritina concava* (fig. 194), *Limnæa*

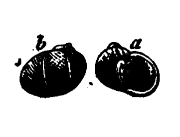


FIG. 194. — *Neritina concava*. Série de Headon.



FIG. 195. — *Limnæa caudata*. Couches de Headon.

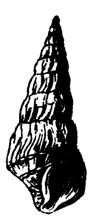


FIG. 196. — *Cerithium concavum*. Série de Headon.

caudata (fig. 195) et *Cerithium concavum* (fig. 196). L'*Helix labyrinthica*, Say (fig. 193), coquille terrestre qui habite

aujourd'hui les États-Unis, a été découverte dans cette série par M. Wood, au rocher de Hordwell. On la rencontre aussi dans Headon-Hill, au sein des mêmes couches. A Sconce, île de Wight, elle se trouve dans la série plus nouvelle de Bembridge, et offre le rare exemple d'un fossile Éocène d'espèce vivante, bien qu'on n'observe, comme cela est ordinaire en pareil cas, aucune connexion locale avec la distribution géographique actuelle de l'espèce.

La portion inférieure et moyenne de la série de Headon existe au rocher de Hordwell, près de Limington, Hants, où ses débris organiques ont été étudiés par M. Searles Wood, le docteur Wright et madame la marquise d'Hastings. Nous devons à cette dame une coupe détaillée des couches (1) et la découverte d'une quantité d'espèces nouvelles de mammifères, de chéloniens et de poissons fossiles; c'est encore elle qui, la première, a fait voir que ces vertébrés diffèrent spécifiquement de ceux des couches de Bembridge. Les coquilles qui abondent à Hordwell, sont la *Paludina lenta* et différentes espèces de *Limnæa*, *Planorbis*, *Melania*, *Cyclas*, *Unio*, *Potomomya*, *Dreissena*, etc.

Au nombre des chéloniens, on cite une espèce d'*Emys* et six espèces de *Trionyx;* parmi les sauriens, un alligator et un crocodile; parmi les ophidiens, deux espèces de serpents terrestres (*Paleryx*, Owen); parmi les poissons, sir P. Egerton et M. Wood ont trouvé des mâchoires, des dents et des écailles dures, brillantes, du genre *Lepidosteus* ou brochet osseux des rivières d'Amérique. On a signalé ce même genre de gadoïdes d'eau douce au sein des couches de Hempstead (île de Wight). Des os de plusieurs oiseaux ainsi que des débris de quadrupèdes ont été extraits à Hordwell. Ceux-ci appartiennent aux genres *Paloplotherium* de Owen, *Anoplotherium*, *Anthracotherium*, *Dichodon* de Owen (genre nouveau découvert par M. Falconer), *Dichobune*, *Spalacodon* et *Hyænodon*. Ce dernier quadrupède offre, si je ne me trompe,

(1) *Bull. de la Soc. géol. de France*, 1852, p. 191.

le plus ancien exemple connu d'un vrai carnivore dans la série des fossiles d'Angleterre; toutefois je n'attache qu'une très faible importance théorique à ce fait, car les espèces herbivores sont les plus fréquentes à l'état fossile dans tous les dépôts conservés des cavernes. Ce qui rend encore cette faune intéressante, c'est que sa position géologique est de beaucoup inférieure à celle des couches de Bembridge ou de Montmartre, dont elle diffère presque autant, quant aux espèces, que la faune encore plus ancienne des couches de l'Éocène Inférieur. Elle nous retrace, par conséquent, la longue succession des groupes distincts de mammifères qui ont vécu sur la terre pendant la période Éocène.

Plusieurs des coquilles appartenant aux couches d'eau saumâtre de la série ci-dessus indiquée, dans l'île de Wight et au rocher de Hordwell, sont communes à l'argile de Barton qui gît au-dessous; et, d'un autre côté, quelques-unes des espèces d'eau douce, telles que *Cyrena obovata*, se retrouvent dans les couches de Bembridge, malgré l'interposition de la série de Sainte-Hélène. Les marnes blanches et vertes de la série de Headon, et quelques-uns des calcaires qui les accompagnent, ressemblent souvent, sous le rapport de la couleur et du caractère minéralogique, aux couches Éocènes de France; si bien que l'on croirait le sédiment dérivé de la même région, ou produit dans le même temps et avec des circonstances géographiques tout à fait semblables.

Au rocher de Hordwell et dans l'île de Wight, les couches de Headon reposent sur des sables blancs, membre supérieur de la série de Barton, B. 4.


FIG. 197.
Chama squamosa.
Barton.

Sables de Headon Hill et Argile de Barton, B. 4. (tableau, p. 170). — Dans l'une des couches supérieures, sableuses, de cette formation, le docteur Wright a trouvé en grande abondance la *Chama squamosa*. Les mêmes sables contiennent, spécialement à Whitecliff Bay, des empreintes de plusieurs coquilles marines communes aux Sables Supérieurs de

Bagshot. L'Argile de Barton, située au-dessous, a fourni environ 209 coquilles marines dont plus de la moitié, suivant M. Prestwich, sont particulières; 7 seulement, c'est-à-dire 5 pour 100, sont communes à l'Argile propre de Londres (C. 1., p. 330). D'un autre côté, 70 de ces coquilles s'accordent avec celles du *Calcaire Grossier* de France.

COQUILLES DE L'ARGILE DE BARTON, HANTS.

Lorsqu'on étudie, par ordre descendant, les formations tertiaires, on voit certains foraminifères, appelés Nummulites, se présenter pour la première fois dans les couches de Barton.

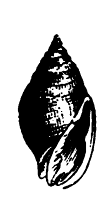


FIG. 198. *Mitra scabra.*

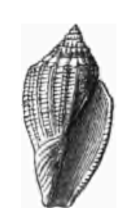


FIG. 199. *Voluta ambigua.*



FIG. 200. *Typhis pungens.*



FIG. 201. *Voluta athleta*, Barton et Bracklesham.

Une petite espèce, *Nummulites variolaria*, se rencontre simultanément sur la côte de Hampshire et au sein des couches



FIG. 202. — *Terebellum fusiforme*, Barton et Bracklesham.



FIG. 203. *Terebellum convolutum*, Lam. *Seraphs convolutum*, Montf.



FIG. 204. *Cardita globosa.*

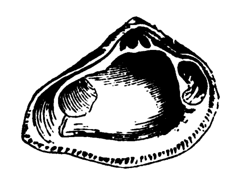


FIG. 205. *Crassatella sulcata.*

du même âge de Whitecliff Bay, île de Wight. Plusieurs coquilles marines, telles que *Corbula pisum*, etc., sont communes aux couches de Barton et à la série de Hempstead ou

Éocène Supérieur, et un plus grand nombre encore le sont à la série de Headon.

Couches de Bagshot et de Bracklesham, B. 5. — Les couches de Bagshot, consistant principalement en sable siliceux, occupent une grande étendue autour de Bagshot, Surrey, et dans le New-Forest, Hampshire. On peut les partager en trois divisions, formées : les supérieure et inférieure d'un sable jaune pâle, et la moyenne de sables vert foncé et d'argiles brunes ; le tout reposant sur l'Argile propre de Londres (1). La division supérieure est probablement du même âge que la série de Barton. Bien que les couches de Bagshot soient généralement dépourvues de fossiles, elles contiennent, en quelques endroits, des coquilles marines parmi lesquelles abondent la *Venericardia planicosta* (fig. 206), la

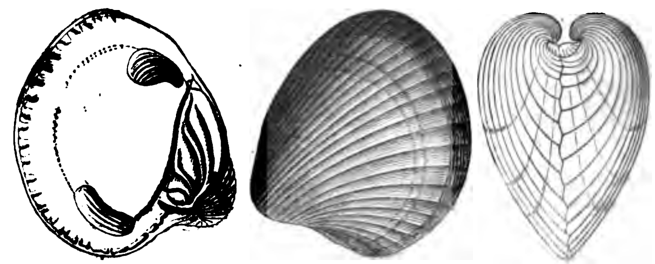


FIG. 206. — *Venericardia planicosta*. Lam. — *Cardita planicosta*, Deshayes.

Turritella sulcifera et la *Nummulites lævigata* (fig. 210). C'est à Bracklesham Bay, près de Chichester, Sussex, que les coquilles caractéristiques de ce membre de la série Éocène sont le mieux connues, entre autres le grand *Cerithium giganteum*, si remarquable dans le calcaire grossier de Paris où il atteint quelquefois 0m,60 de longueur. Les volutes et d'autres coquilles de cette formation, de même que les lunulites et les coraux, semblent indiquer qu'un climat chaud aurait prévalu dans cette région, idée qui serait confirmée par la découverte d'un serpent, *Palæophis typhæus* (fig. 207), dépassant, suivant M. Owen, 6 mètres de long, et voisin par sa

(1) Prestwich, *Quart. geol. Journ.*, t. III, p. 386.

configuration osseuse du Boa, du Python, de la Couleuvre et de l'Hydre. La forme comprimée et la diminution de quelques-unes des vertèbres caudales présentent une telle analogie avec l'Hydre, que M. Owen a cru pouvoir déclarer que cet ophidien éteint habitait les mers (1).







FIG. 207. — *Palæophis typhæus*, Owen; serpent de mer, Éocène, Bracklesham. *a*, *b*. Vertèbres, avec leurs longues apophyses dorsales conservées. — *c*. Deux vertèbres articulées.

Après avoir victorieusement combattu l'existence, à l'époque actuelle, de serpents de mer gigantesques dans l'Océan septentrional, ce savant soutient aujourd'hui l'existence, dans les mers Éocènes d'Angleterre, de serpents présentant

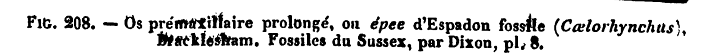


FIG. 208. — Os prémaxillaire prolongé, ou *épee* d'Espadon fossile (*Cælorhynchus*), Bracklesham. Fossiles du Sussex, par Dixon, pl. 8.

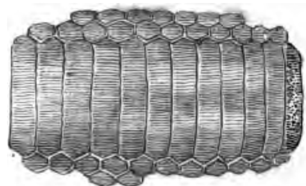






FIG. 209. Plaques dentaires du *Myliobates Edwardsii*, baie de Bracklesham. *Ibid.*, pl. 8.

FIG. 210. — *Nummulites* (*Nummularia*) *lævigata*. Bracklesham. *Ibid*, pl. 8. — *a*. Coupe en travers de la Nummulite. — *b*. Groupe avec individu montrant l'extérieur de la coquille.

des dimensions moindres, à une époque où le climat était probablement plus chaud. Parmi les compagnons du serpent

(1) *Palæont. Soc.*, *Monograph. Rept.*, pt. II, p. 61.

de mer de Bracklesham, on a rencontré un gavial éteint (*Gavialis Dixoni*, Owen) et de nombreux poissons d'espèces qui habitent aujourd'hui les mers des latitudes chaudes, telles que l'Espadon (fig. 208) et des raies gigantesques du genre *Miliobates* (fig. 209).

Des dents de requins des genres *Carcharodon*, *Otodus*, *Lamna*, *Galeocerdo* et autres abondent aussi à Bracklesham (fig. 211, 212, 213, 214). La *Nummulites lævigata* (fig. 210), si caractéristique des couches inférieures du

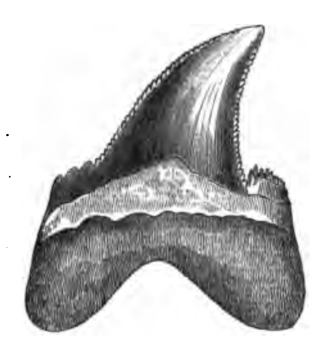


FIG. 211. — *Carcharodon heterodon*, Agass.



FIG. 212. — *Otodus obliquus*, Agass.

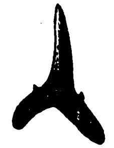


FIG. 213. — *Lamna elegans*, Agass.

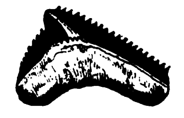


FIG. 214. — *Galeocerdo latidens*, Agass.

Dents de requins, de la baie de Bracklesham.

Calcaire Grossier de France, où elle forme quelquefois de véritables lits, comme aux environs de Compiègne, y est très commune en même temps que la *N. scabra* et la *N. variolaria*. Sur 193 espèces de testacés que l'on a recueillies dans les couches de Bagshot et de Bracklesham, 126 se rencontrent dans le Calcaire Grossier de France. Ces couches se rapprochent donc, pour l'âge, beaucoup plus de cette partie de la série parisienne que de toute autre.

COQUILLES MARINES DES COUCHES DE BRACKLESHAM.



FIG. 215. *Pleurotoma attenuata*, Sow.

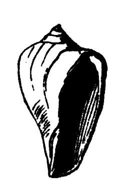


FIG. 216. *Voluta latrella*, Lam.



FIG. 217. *Turritella multisulcata*, Lam.

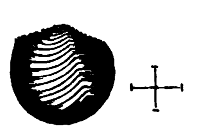


FIG. 218. *Lucina serrata*, Dixon; grossie.

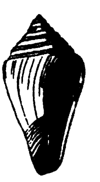


FIG. 219. *Conus deperditus*.

FORMATIONS DE L'ÉOCÈNE INFÉRIEUR D'ANGLETERRE.

Argile propre de Londres (C. 1., Tableau, p. 330).—Cette formation vient au-dessous de la précédente et consiste en argile tenace, brune et gris bleuâtre, avec lits de concrétions appelées *septaria*, lesquels abondent principalement dans l'argile brune, et sont extraits en grande quantité des falaises des environs de Harwich et des bas-fonds de la côte d'Essex pour la fabrication du ciment romain. Les plus importantes localités à fossiles de l'Argile de Londres sont la colline de Highgate près de cette ville, l'île de Sheppey et Bognor, Hampshire. Sur 133 coquilles fossiles, M. Prestwich en a trouvé 20 seulement communes au Calcaire Grossier (qui a fourni 600 espèces), tandis que 33 sont communes aux Lits Coquilliers, dans lesquels on ne reconnaît en France que 200 espèces. On peut donc présumer que l'Argile propre de Londres est plus ancienne que le Calcaire Grossier. Ceci éloignera peut-être une difficulté qu'a rencontrée M. Adolphe Brongniart lorsqu'il a voulu comparer la Flore Éocène des environs de Londres à celle de Paris. Les espèces fossiles de l'île de Sheppey, observe ce savant, indiquent un climat plus tropical que la Flore Éocène de France. Or cette dernière a été fournie principalement par la série du gypse, et ressemble à la végétation des bords de la Méditerranée plutôt qu'à celle d'une région équatoriale; tandis que la flore de Sheppey appartient à une époque antérieure, séparée de la période du gypse de

Paris par tout le Calcaire Grossier et la série de Bagshot, en un mot par toute la formation nummulitique proprement dite.

Dans sa description des fruits et graines fossiles de l'île de Sheppey près de Londres, M. Bowerbank indique plus de treize fruits de palmiers du type récent *Nipa*, lequel n'est connu aujourd'hui qu'aux îles Moluques, aux Philippines et dans le Bengale (fig. 220). Dans le delta du Gange, le docteur Hooker a observé de grosses noix du *Nipa fruticans*, flottant en nombre tel sur les différents bras de cette grande rivière, que les roues des bateaux à vapeur en étaient obstruées. Ces plantes sont alliées, d'un côté, à la tribu des cocotiers, et de l'autre au *Pandanus*. On rencontre encore dans l'argile de Sheppey des fruits de palmiers autres que ceux de la tribu des cocotiers, ainsi que trois espèces d'*Anona*, et une grande abondance de fruits de cucurbitacées (division des calebasses et melons), ainsi que différentes espèces d'*Acacia*. Ceux-ci, bien que ne portant pas le caractère tropical d'une manière aussi tranchée, impliquent cependant un climat chaud.


FIG. 220. — *Nipadites ellipticus*, Bow. Palmier fossile, de Sheppey.

La contiguïté des terres peut être déduite non-seulement de ces productions végétales, mais encore des dents et des ossements de crocodiles et de tortues, car ces animaux devaient aller à la côte pour déposer leurs œufs. On observe, dans la formation, de nombreuses espèces de tortues qui se rapportent à des genres éteints. La plupart n'égalent pas en grosseur les plus grandes tortues vivant de nos jours. Un serpent marin du genre *Palæophis*, qui devait atteindre plus de 3 mètres, a aussi été décrit par Owen, et comme espèce différente de celle de Bracklesham. Un crocodile proprement dit, *Crocodilus toliapicus*, et un autre saurien se rapprochant beaucoup plus du gavial, accompagnent ces fossiles ;

on y rencontre aussi des débris de différents oiseaux et quadrupèdes. Parmi ces derniers on signale un nouveau genre, *Hyracotherium*, Owen, allié au daman, au cochon et au *Chœropotamus*. On cite un *Lophiodon* et un pachyderme appelé par Owen *Coryphodon Eocænus*, plus grand qu'aucun des tapirs actuels. Tous ces animaux paraissent avoir habité les bords de la grande rivière dans laquelle flottaient les fruits de Sheppey. Ils impliquent une faune mammifère antérieure à la période où les Nummulites vivaient en Europe et en Asie, antérieure par conséquent au soulèvement des Alpes, des Pyrénées et des autres chaînes de montagnes qui dessinent les reliefs actuels des grands continents, antérieure même au temps où les masses rocheuses qui forment aujourd'hui l'axe de ces chaînes se déposèrent au sein des mers.

Dans l'Argile de Londres, les coquilles marines indiquent, comme les plantes et les reptiles, une température élevée; on y rencontre par exemple plusieurs espèces de *Conus* et de *Voluta*, une grande *Cypræa* (*C. oviformis*), une très grande *Rostellaria* (fig. 223), une espèce de *Cancellaria*, six espèces de *Nautilus* (fig. 225), et d'autres céphalopodes de genres éteints dont l'un des plus remarquables est le *Belosepia* (1) (fig. 226). Parmi les différentes bivalves caractéristiques on cite la *Leda amygdaloïdes* (fig. 227), l'*Axinus angulatus* (fig. 228), et parmi les rayonnés, une étoile de mer (*Astropecten*, fig. 229).

Avec ces fossiles, on trouve un Espadon (*Tetrapterus priscus*, Agassiz) d'environ 2 mètres de long et une Scie (*Pristis bisulcatus*, Agassiz) de 3 mètres à peu près, genres étrangers aujourd'hui aux mers Britanniques. Agassiz a décrit plus de cinquante espèces de poissons appartenant aux couches de Sheppey, et qui indiquent, suivant lui, un climat chaud.

(1) Pour la description des Céphalopodes Éocènes, voyez la *Monographie*, par F.-E. Edwards (*Palæontograph. Soc.*, 1849).

COQUILLES FOSSILES DE L'ARGILE DE LONDRES.

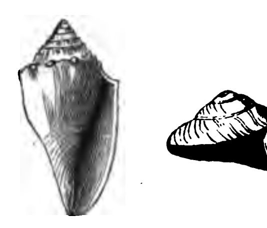


FIG. 221. — *Voluta nodosa*, Sow. Highgate.

FIG. 222. — *Phorus extensus*, Sow. Highgate.



FIG. 223. — *Rostellaria macroptera*, Sow.; un tiers de grandeur naturelle. On la rencontre aussi dans l'argile de Barton.



FIG. 224. — *Nautilus centralis*, Sow. Highgate.

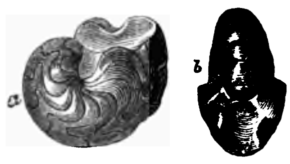


FIG. 225. — *Aturia ziczac* Brown et Edwards, Syn. *Nautilus ziczac*, Sow. Argile de Londres, Sheppey.



FIG. 226. — *Belosepia sepioïdea*, De Blainv. Argile de Londres, Sheppey.

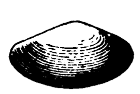


FIG. 227. — *Leda amygdaloïdes*, Highgate.

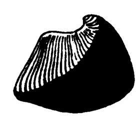


FIG. 228. — *Axinus angulatus*. Argile de Londres, Hornsea.



FIG. 229. — *Astropecten crispatus*, E. Forbes. Sheppey.

Couches de Kyson en Suffolk. — A Kyson, près de Woodbridge, le Crag Rouge recouvre une grande couche d'Argile Éocène de 3^{m},60 d'épaisseur. Plus bas est un dépôt de sable jaune et blanc dont les fossiles offrent un grand intérêt, et qui

constitue probablement la partie inférieure de l'Argile propre de Londres. Ce sable a fourni des dents et une portion de mâchoire qu'Owen rapporte au genre *Macacus* (fig. 230). C'est le premier exemple de quadrumanes fossiles en Angleterre. Les mammifères rencontrés dans ce même dépôt, outre de nombreuses dents de squales, étaient un Opossum *Didelphys* (fig. 231), et une Chauve-Souris insectivore (fig. 232).




FIG. 230. — Molaire de singe (*Macacus*).

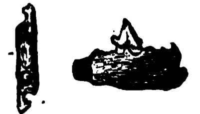


FIG. 231. — Molaire et portion de mâchoire d'Opossum, de Kyson (1).




FIG. 232. — Molaires de Chauve-Souris insectivore : double de grandeur naturelle, de Kyson, Suffolk.

M. Colchester a ajouté, en 1840, d'autres débris provenant de la même localité, parmi lesquels M. Owen a reconnu des dents du genre *Hyracotherium* et des vertèbres d'un grand serpent, probablement d'un *Palæophis*. Ces deux derniers genres ont été signalés aussi dans l'Argile de Londres, et confirment cette opinion que le Sable de Kyson appartient à la période Éocène. Le *Macacus* est le premier quadrumane que l'on ait rencontré dans des couches aussi anciennes que l'Éocène et dans une région aussi éloignée de l'équateur. Cette découverte remonte à 1836; depuis, on a découvert d'autres quadrumanes en France, dans l'Inde et au Brésil.

Argiles plastiques ou à modeler et Sables (C. 2., p. 330). — Les argiles dites plastiques que l'on rencontre immédiatement au-dessous de l'Argile de Londres doivent ce nom, en France, à l'usage que l'on en fait pour la poterie. On exploite dans le même but, en Angleterre, des couches d'âge identique (séries de Woolwich et de Reading, de Prestwich) (2).

Nulles formations ne diffèrent plus dans l'ensemble de leurs caractères minéralogiques que les dépôts Éocènes de

(1) *Ann. of nat. Hist.*, vol. IV, n° 23, nov. 1839.

(2) Prestwich, *Waterbearing Strata of London*, 1851.

l'Angleterre et de Paris : les premiers, presque tous d'origine mécanique, sont formés de limon, de sable et de cailloux; les seconds offrent au contraire une nombreuse succession de calcaires parfois siliceux, de gypses cristallins, de grès siliceux et de silex purs employés comme pierre à moudre. Il est donc assez difficile d'établir une comparaison exacte entre les différents membres des séries anglaise et française, aussi bien que de déterminer leur âge relatif. Évidemment, les bassins de Paris et de Londres ont éprouvé dans leur faune et leur flore des changements successifs résultant de l'apparition de nouvelles espèces et de l'extinction d'espèces préexistantes; des modifications dans les conditions géographiques ont dû se produire en même temps par l'exhaussement et l'abaissement des terres et du fond des mers. Telle période de temps particulière fut donc représentée sur certain point par un continent, sur tel autre par un estuaire, sur un troisième par la mer; et là même où les formations des deux pays offrent également le caractère marin, les différences de niveau doivent avoir souvent modifié le développement de la vie animale.

Toutefois, la division de la série Éocène dont il s'agit en ce moment fait exception à la règle générale; car partout, dans le bassin de Londres ou dans celui du Hampshire comme dans le bassin de Paris, elle présente le même caractère minéralogique. On comprendra cette uniformité d'aspect si l'on songe que les lits sont composés uniquement de sables, d'argiles à modeler, de silex roulés de la craie, dont la grosseur varie de celle d'un pois à celle d'un œuf. Dans l'île de Wight, ces lits sont en contact avec la craie, comme dans le bassin de Londres, à Reading, à Blackheath et à Woolwich. Dans quelques-uns, tout à fait inférieurs, on rencontre par bancs l'*Ostræa bellovacina*, si commune en France dans la même position relative, et l'*Ostræa edulina* difficile à distinguer de l'espèce comestible vivante. Dans les mêmes lits, à Bromley, le docteur Buckland a trouvé un gros galet auquel adhéraient cinq huîtres parfaitement

développées, lesquelles, évidemment, avaient pris naissance sur le galet et y étaient restées jusqu'au moment de leur enfouissement.

En plusieurs endroits, tels qu'à Woolwich sur la Tamise, à Newhaven, Sussex, un mélange de testacés marins et d'eau douce caractérise ce membre de la série. Les coquilles d'eau douce sont représentées par la *Melania inquinata* (fig. 234) et la *Cyrena cuneïformis* (fig. 233), très communes également dans les couches du même âge en France; elles





FIG. 233. — *Cyrena cuneïformis*, Min. Con. Grandeur naturelle.



FIG. 234. — *Melania inquinata*, Desh.; grandeur naturelle. — Syn. *Cerithium melanoïdes*, Min. Con.

indiquent des embouchures de rivières dans la mer Éocène. On observe habituellement un mélange de coquilles d'eau saumâtre, d'eau douce et marines, et quelquefois, comme à Woolwich, on acquiert la preuve que la rivière et la mer ont successivement occupé le même point. A New-Charlton, aux portes mêmes de Woolwich, M. de la Condamine a découvert, en 1849, et m'a fait examiner une couche de sable mélangé de galets siliceux parfaitement arrondis, et dans laquelle se trouvaient de nombreux individus de l'espèce *Cyrena tellinella* avec leurs deux valves réunies et l'extrémité postérieure de chaque coquille tournée vers le haut,

comme si les mollusques fussent morts dans leur position naturelle. J'ai décrit (1) un banc analogue de limon sableux dans le delta de la rivière Alabama, à Mobile, sur les bords du golfe du Mexique ; à basses eaux, j'y ai tiré par la drague des espèces vivantes de *Cyrena* et un *Gnathodon* dont les coquilles étaient debout, c'est-à-dire dans une station qui permettait à l'animal de tendre son siphon et d'aspirer ou de rejeter l'eau à volonté. A Mobile, l'eau, ordinairement douce, est quelquefois saumâtre.

A Woolwich, une rivière a dû couler vers la mer pendant que les *Cyrenæ* vivaient, et celles-ci périrent subitement par un afflux d'eau salée qui envahit les bas-fonds ou les points sur lesquels un abaissement avait lieu. Suivies dans leur direction du côté de l'E. vers Herne-Bay, les couches de Woolwich prennent un caractère de plus en plus marin ; tandis qu'au S.-O., comme à Chelsea, elles acquièrent un caractère d'eau douce plus prononcé, et contiennent des *Unio*, *Paludina*, ainsi que des bancs de lignite. Un continent arrosé par des rivières aurait donc existé anciennement vers le S.-O. de la métropole actuelle.

Avant que les géologues se fussent familiarisés avec la théorie de l'abaissement graduel du sol, de sa conversion en fond de mer à différentes périodes, et, comme conséquence, de la transformation des eaux basses en eaux profondes, le caractère d'eau douce et littoral de ce groupe inférieur paraissait étrange et anormal. Si l'on traverse sur quelques centaines de mètres l'Argile de Londres, dépôt formé, comme le prouvent ses fossiles, dans une eau salée profonde, on arrive à des couches d'origine fluviatile où l'on rencontre des amas de cailloux qui atteignent, à Blackheath, une épaisseur de 15 mètres, et indiquent ainsi le voisinage d'une terre où les silex de la craie auraient été roulés à l'état de sable et de galets, et se seraient répandus sans discontinuité sur de larges espaces. On trouve toujours de semblables cailloux vers le bas de la

(1) *Second Visit to the United States*, vol. II, p. 104.

série, dans l'île de Wight comme dans les bassins du Hampshire ou de Londres. On peut se demander s'ils ne seraient pas simplement d'étroites zones littorales analogues à celles que présentent les anciennes plages marines. A cette question M. Prestwich répond que les zones de cailloux ont pu se former lentement sur une large échelle à l'époque des sables de Thanet (C. 3., p. 330), et que, lorsque le sol vint à baisser, les galets arrondis auront été dispersés simultanément sur des surfaces considérables et exposés pendant la submersion graduelle à l'action des vagues de la mer, aidée quelquefois par le flux et reflux, et par les inondations des rivières.

Sables de Thanet (C. 3., p. 330). — On voit souvent l'argile plastique, ou argile à modeler de l'île de Wight et du Hampshire, en contact avec la craie et constituant le membre inférieur de la série Éocène d'Angleterre. Mais, ailleurs, une autre formation d'origine marine, caractérisée par un ensemble un peu différent de débris organiques, vient se placer, comme M. Prestwich l'a démontré, entre la craie et la série de Woolwich. Ce géologue a proposé pour cette formation le nom de *Sables de Thanet*, parce qu'elle se montre très nettement dans l'île de Thanet, partie septentrionale du Kent, et sur la côte de la mer, entre Herne-Bay et les Reculvers, où elle consiste en sables parfois concrétionnés. Entre autres fossiles, elle contient les *Pholadomya cuneata*, *Cyprina Morrisii*, *Corbula longirostris*, *Scalaria Bowerbankii*, etc. Sa plus grande épaisseur est d'environ 27 mètres.

FORMATIONS DE L'ÉOCÈNE MOYEN DE FRANCE.

TABLEAU GÉNÉRAL DES COUCHES ÉOCÈNES DE FRANCE.

A. ÉOCÈNE SUPÉRIEUR.

(*Miocène Inférieur de plusieurs auteurs français.*)

	Équivalents anglais.
A. Calcaire de la Beauce, ou d'eau douce, supérieur (voyez p. 295), et Grès de Fontainebleau, etc.	Série de Hempstead, p. 307.

B. ÉOCÈNE MOYEN.

B. 1. Série du Gypse et Calcaire lacustre, Moyen.	Série de Bembridge, p. 309.
B. 2. Calcaire siliceux (en partie contemporain du groupe qui suit ?).	Partie inférieure de la série de Bembridge.
B. 3. Grès de Beauchamp, ou Sables Moyens.	Série d'Osborne, et partie supérieure et moyenne de la série de Headon, île de Wight.
B. 4. Calcaire Grossier Supérieur (Caillasse), et Calcaire Grossier Moyen.	Sables de la colline de Headon, Barton, Bagshot Supérieur et partie des couches de Bracklesham.
B. 5. Calcaire Grossier Inférieur, ou Glauconie Grossière.	Couches de Bracklesham.
B. 6. Sables du Soissonnais, ou lits coquilliers.	Bagshot Inférieur, d'âge intermédiaire entre les couches de (Bracklesham et l'Argile Londres.

C. ÉOCÈNE INFÉRIEUR.

C. Argile plastique et lignite.	Argile plastique et Sable, avec lignite (série de Woolwich et de Reading).

Les formations tertiaires des environs de Paris consistent en une série de couches marines et d'eau douce alternant entre elles et remplissant une dépression de la craie. La surface qu'elles occupent a reçu le nom de bassin de Paris; elle s'étend sur environ 290 kilomètres de longueur du Nord au Sud, et 145 kilomètres de largeur de l'Est à l'Ouest.

En 1810, MM. Cuvier et Brongniart ont distingué cinq groupes différents, dont trois d'eau douce et deux marins; cette division impliquait pour eux qu'une mer, des rivières et des lacs avaient successivement occupé et abandonné la même surface. Des recherches ultérieurement faites dans les bassins du Hampshire et de Londres ont confirmé cette opinion, ou démontré tout au moins que, depuis le commencement de la période Éocène, il s'était produit dans le lit de la mer et les continents voisins des mouvements considérables qui pouvaient seuls rendre compte de la superposition des dépôts de mer profonde à ceux d'eaux basses (l'Argile de Londres, par exemple, aux couches de Wool-

wich). Néanmoins, d'après les recherches de M. Constant Prévost, quelques-uns des mélanges et alternances de dépôts d'eau douce et marins du bassin de Paris pourraient être expliqués par l'action simultanée des deux causes dans la même baie d'une seule mer, ou dans un golfe unique où plusieurs rivières venaient affluer.

Sans entrer dans le détail des nombreuses sous-divisions des couches parisiennes, je me bornerai à donner quelques exemples des formations les plus importantes déjà énumérées dans le Tableau, page 349.

Au-dessous de l'Éocène Supérieur, ou *Sables Marins Supérieurs* A, on rencontre, dans les environs de Paris, une série de marnes blanches et vertes avec couches subordonnées de gypse B. Ces couches sont plus largement développées dans les parties centrales du bassin, et, entre autres endroits, dans la colline de Montmartre où les fossiles qu'elles contiennent ont été pour la première fois étudiés par Cuvier.

Le gypse que l'on exploite sur ce point pour la fabrication du plâtre forme une roche cristalline grenue, et, comme les marnes qui lui sont associées, il contient des coquilles terrestres et fluviatiles avec des os et des squelettes d'oiseaux et de quadrupèdes. On y rencontre aussi diverses plantes terrestres parmi lesquelles de beaux échantillons de la tribu des palmiers-éventail ou palmetti (*Flabellaria*), ainsi que des débris de poissons d'eau douce, de crocodiles et d'autres reptiles. Les squelettes de mammifères y sont ordinairement isolés, parfois entiers; les extrémités les plus délicates en sont bien conservées, comme si les animaux enveloppés de leur peau et de leurs chairs étaient tombés au fond de l'eau aussitôt après leur mort et pendant que les gaz produits par leur première décomposition gonflaient encore leurs cadavres. Les quelques coquilles qui accompagnent ces fossiles sont de ces espèces légères qui flottent avec les bois à la surface des rivières.

M. Prévost a pensé que des rivières avaient pu entraîner au loin les animaux et les plantes qui vivaient sur leurs

bords ou dans les lacs qu'elles traversaient, et les déposer au centre d'un golfe où arrivaient des eaux imprégnées de sulfate de chaux. Nous savons que le fleuve Salso, en Sicile, entre à la mer tellement chargé de sels de différentes natures, que les bestiaux refusent de s'y abreuver. Un ruisseau d'eau sulfureuse aussi blanche que du lait descend à la mer de la montagne volcanique d'Idienne, à l'est de Java; à une certaine époque, un torrent d'eau chaude chargée d'acide sulfurique s'échappa du même volcan, inonda et détruisit la végétation sur une vaste étendue de pays (1). De même, le Pusanibio ou Rio Vinagre, en Colombie, qui sourd au pied du Puracé, volcan éteint situé à plus de 700 mètres au-dessus du niveau de la mer, roule des eaux fortement imprégnées d'acide sulfurique, d'acide chlorhydrique et d'oxyde de fer. Admettons des rivières de cette espèce, infectées de propriétés nuisibles aux animaux qui vivent dans la mer, et nous expliquerons ainsi l'absence totale de débris marins dans le gypse à ossements (2). Cette roche ne contient ni cailloux roulés, ni sable grossier, circonstance qui s'accorde bien avec l'hypothèse qu'elle serait le résultat d'une précipitation opérée dans une eau chargée de sulfate de chaux en dissolution et transportant des restes d'animaux.

On a trouvé dans cette formation les débris d'environ cinquante espèces de quadrupèdes, parmi lesquels figurent les genres *Palæotherium*, *Anoplotherium* et autres, complétement éteints; près des quatre cinquièmes appartiennent à une division de l'ordre des pachydermes qui n'est plus aujourd'hui représentée que par quatre espèces : trois tapirs et le daman du Cap. On cite aussi quelques carnivores, entre autres l'*Hyænodon dasyuroïdes*, une espèce de chien (*Canis parisiensis*) et une belette (*Cynodon parisiensis*). L'ordre des *Rongeurs* fournit un écureuil, et celui des *Insec-*

(1) *Leyde Magaz. voor Wetensch Konst en Lett.*, partie V, cahier 1, p. 71, cité par Rozet, *Journ. de Géol.*, t. I, p. 43.

(2) M. C. Prévost, *Submersions Itératives*, etc., note 23.

tivores une chauve-souris; les *Marsupiaux*, qu'on ne rencontre aujourd'hui vivants qu'en Amérique, en Australie et dans quelques îles voisines, n'y figurent que par un *Opossum*.

Les oiseaux présentent environ dix espèces, la plupart avec squelettes entiers; mais aucune d'elles ne peut être rapportée aux espèces vivantes (1). La même remarque s'applique, suivant MM. Cuvier et Agassiz, aux poissons et aux reptiles. Parmi ces derniers on rencontre des crocodiles et des tortues des genres *Emys* et *Trionyx*.

Les quadrupèdes terrestres qui abondent dans cette formation étaient de ceux qui habitent les plaines alluviales et les marais, les bords des rivières et des lacs, et sont, conséquemment, plus exposés à périr dans les inondations. On remarque parmi eux différentes espèces du genre *Palæotherium*, ainsi que des *Anoplotherium*, tribu qui se place entre les pachydermes et les ruminants. Cuvier a donné le nom de *Xiphodon* à l'une des trois divisions de cette famille. C'étaient des animaux à formes minces et élégantes : l'une des espèces, le *Xiphodon gracile* (fig. 235) avait à peu près la taille du chamois; l'inspection du squelette a fait dire à Cuvier que cet animal devait être aussi léger, aussi gracieux et aussi agile que la gazelle.

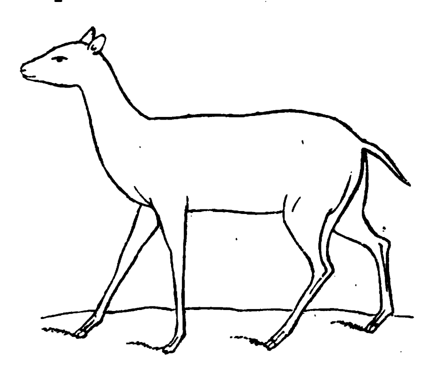


FIG. 235. — *Xiphodon gracile*, ou *Anoplotherium gracile*, Cuvier. Contour restauré.

Quand l'ostéologiste français déclara, au commencement de ce siècle, que tous les quadrupèdes fossiles du gypse de Paris étaient de races éteintes, cette énonciation de la part

(1) Cuvier, *Ossements fossiles*, t. III, p. 255.

d'une autorité aussi éminente produisit une vive sensation, et, à dater de cette époque, une nouvelle impulsion fut donnée en Europe aux progrès des recherches géologiques. De savants naturalistes avaient, il est vrai, précédemment avancé que les coquilles et les zoophytes des roches anciennes en Europe appartenaient à des races qui n'existaient plus, mais la majorité des gens instruits avait continué de croire que les espèces d'animaux et de plantes aujourd'hui contemporaines de l'homme avaient été créées dès le principe avec la terre même. Il était facile alors de combattre la nouvelle doctrine, car on découvrait à chaque instant des coraux, des coquilles ou d'autres créatures inconnues jusque-là et l'on pouvait demander pourquoi des mers encore inexplorées ne fourniraient pas des formes vivantes semblables aux formes fossiles. Mais, depuis la publication des *Ossements fossiles* de Cuvier, et surtout depuis son traité populaire intitulé *Théorie de la terre*, des vues plus étendues commencèrent à prévaloir. Il fut clairement démontré que la plus grande partie des mammifères trouvés dans le gypse de Montmartre différaient, même génériquement, de tous ceux connus aujourd'hui, et il devint manifeste qu'aucun d'eux, surtout des plus grands, ne pouvait exister vivant même sur des continents inexplorés. L'absence de toute espèce actuelle dans une faune fossile aussi riche fournit une preuve frappante que le sol habité jadis n'avait aucun rapport zoologique avec l'état présent.

Calcaire siliceux ou Travertin inférieur, B. 2. — Le calcaire siliceux compacte s'étend sur une vaste surface. Il ressemble au précipité que laissent déposer les sources minérales, et présente souvent un grand nombre de petites cavités irrégulières. Bien que généralement dépourvu de débris organiques, il contient sur certains points des espèces d'eau douce et des espèces terrestres, mais jamais de fossiles marins. Le calcaire siliceux et le calcaire grossier occupent ordinairement, dans le bassin de Paris, des espaces séparés; où celui-ci atteint son développement complet, celui-là ne

montre que sa plus faible épaisseur. Quelques auteurs les ont décrits comme alternant vers le centre du bassin, à Sergy et à Osny par exemple; M. Prévost en conclut qu'au Nord, où la baie s'ouvrait probablement vers la mer, il se déposa un calcaire marin, tandis qu'un dépôt d'eau douce se forma au Sud, c'est-à-dire à l'origine de cette même baie. On suppose que, pendant la période Éocène comme aujourd'hui, l'Océan s'étendait au Nord, et le continent où se trouvaient les grands lacs, au Sud. On peut admettre que de cette région Sud descendait un cours d'eau chargé de carbonate de chaux et de silice, dont le volume suffisait pour refroidir la partie supérieure de la baie. De ce que le gypse, auquel s'associent la marne et la chaux, présente vers le centre du bassin une épaisseur plus considérable que le calcaire grossier et le calcaire siliceux, M. Prévost tire cette conséquence que dans le temps où ces deux dépôts se formaient, l'un vers le Nord, l'autre vers le Sud, une rivière venant de l'Est couvrait le centre de sédiments marneux et gypseux.

Grès de Beauchamp ou Sables Moyens, B. 3. — Dans quelques parties du bassin de Paris, des marnes et sables appelés Grès de Beauchamp ou Sables Moyens séparent les lits gypseux du calcaire grossier proprement dit. Ces sables, dans lesquels abonde une petite Nummulite (*N. variolaria*), contiennent plus de 300 espèces de coquilles marines, quelques-unes particulières, et les autres communes à la division suivante.

Calcaire Grossier Supérieur et Moyen, B. 4. — La division supérieure de ce groupe se compose en majeure partie de calcaire compacte et fragile, avec des marnes vertes intercalées. Sur quelques points les coquilles offrent un mélange de *Cerithium*, *Cyclostoma* et *Corbula;* sur d'autres, de *Limnæa*, *Cerithium*, *Paludina*, etc. Avec ces dernières on a trouvé des os de reptiles et les mammifères *Palæotherium* et *Lophiodon*. La division moyenne, ou Calcaire Grossier proprement dit, présente effectivement une structure grossière;

souvent elle passe au sable. C'est elle qui contient le plus grand nombre de coquilles fossiles caractéristiques du bassin de Paris. On a pu extraire d'un seul endroit, près de Grignon, plus de 400 espèces gisant dans une couche de sable calcaire presque entièrement formée de coquilles brisées, parmi lesquelles on distingue, mêlées ensemble et dans un état de conservation parfaite, des espèces marines, terrestres et d'eau douce. Il est possible que les coquilles marines aient vécu dans l'endroit même où on les rencontre aujourd'hui ; mais les *Cyclostoma* et *Limnœa* doivent y avoir été apportés par des rivières ou des courants, et la quantité de débris triturés dénote que le mouvement des eaux était considérable.

Rien n'est plus frappant dans cet assemblage de testacés fossiles que la grande proportion des espèces qui se rapportent au genre *Cerithium.* On n'en compte pas moins de 137, presque toutes dans le Calcaire Grossier. La plupart des Cérithes vivants habitent la mer, près de l'embouchure des rivières, là où l'eau est saumâtre ; la quantité qu'on en trouve dans le terrain marin dont nous parlons s'accorde donc avec l'hypothèse que le bassin de Paris aurait formé jadis un golfe dans lequel plusieurs rivières apportaient le tribu de leurs eaux ; les sédiments abandonnés par quelques-unes d'entre elles auraient formé les lits d'argile et de lignite, tandis que le calcaire siliceux aurait été précipité plus au loin vers le Sud.

FORAMINIFÈRES ÉOCÈNES.

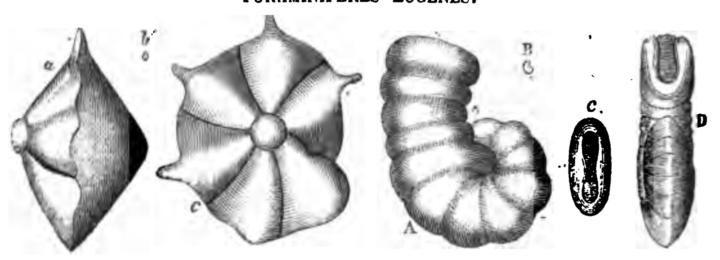


FIG. 236.

Calcarina rarispina, Desh. *b*. Grandeur naturelle. — *a*, *c*. La même, grossie.

FIG. 237.

Spirolina stenostoma, Desh. B. Grandeur naturelle. — A, C, D. La même, grossie.

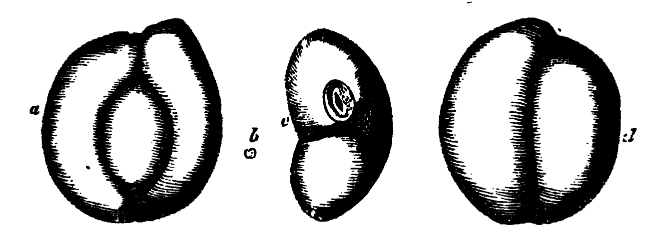


FIG. 238. — *Triloculina inflata*, Desh.
b. Grandeur naturelle. — *a, c, d.* La même, grossie.

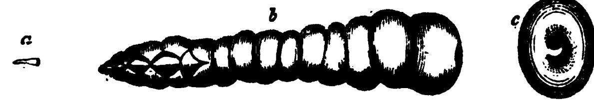


FIG. 239. — *Clavulina corrugata*, Desh.
a. Grandeur naturelle. — *b, c.* La même, grossie.

Sur quelques points du Calcaire Grossier de Paris on rencontre une pierre propre à bâtir et que les géologues français ont nommée *Calcaire à Miliolites*. Elle est presque entièrement composée de Foraminifères microscopiques. Comme cette pierre ne se rencontre jamais dans les Faluns ou dans les couches Miocènes de la Bretagne et de la Touraine, elle sert à distinguer les formations Éocènes des Miocènes répandues çà et là dans ces provinces et dans celles qui les avoisinent. La découverte de débris de Paléothériums et d'autres mammifères dans quelques-uns des lits supérieurs du Calcaire Grossier démontre que ces animaux terrestres ont vécu avant la formation des dépôts gypseux dont la série est au-dessus.

Calcaire Grossier Inférieur ou Glauconie Grossière, B. 5.— La portion inférieure du Calcaire Grossier, laquelle contient souvent une grande quantité de grains verts, est caractérisée à Auvers près de Pontoise, et plus encore dans les environs de Compiègne, par l'abondance des Nummulites, spécialement des *N. lævigata*, *N. scabra* et *N. Lamarcki;* ces fossiles composent en grande partie quelques-unes des couches, bien qu'ils ne se rencontrent point dans les couches de même âge aux environs immédiats de Paris.

Sables du Soissonnais ou lits coquilliers, B. 6. — Au-dessous de la formation précédente, on observe des sables remplis de coquilles sur une épaisseur considérable, surtout à Cuise-la-Motte près de Compiègne, et dans d'autres localités du Soissonnais, à environ 80 kilomètres N.-E. de Paris; on y a découvert près de 300 espèces dont la plupart sont communes au Calcaire Grossier et aux couches de Bracklesham en Angleterre; quelques-unes sont particulières au dépôt.

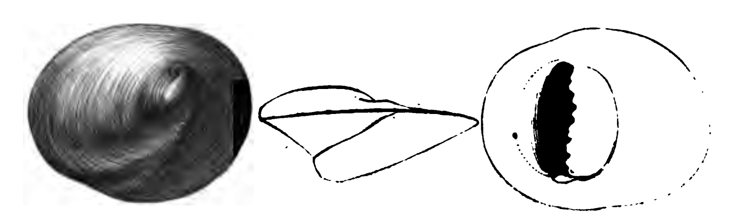


FIG. 240. — *Nerita conoïdea*, Lam. — Syn. *N. Schemidelliana*, Chemnitz.

La *Nummulites planulata* y abonde; mais la coquille la plus caractéristique est la *Nerita conoïdea*, Lam. Ce dernier fossile occupe une très large étendue géographique, car suivant la remarque de M. d'Archiac, il accompagne la formation nummulitique depuis l'Europe jusqu'aux Indes, où on l'a trouvé à Cutch, près de l'embouchure de l'Indus, en même temps que la *Nummulites scabra.* Parmi les coquilles de ce groupe, 33 au moins paraissent identiques avec celles de la Craie de Londres. Après avoir visité Cuise-la-Motte et d'autres localités des *Sables Inférieurs* (d'Archiac), j'ai conclu avec M. Prestwich que ces formations sont probablement plus nouvelles que l'Argile de Londres et peut-être plus anciennes que les couches de Bracklesham en Angleterre. Si l'Argile de Londres est représentée en France par ces sables, c'est tout au plus d'une manière partielle (1). M. Deshayes a donné le *Cardium porulosum* provenant des lits sableux du Soissonnais, comme exemple des changements qui

(1) D'Archiac, *Bulletin*, t. X; et Prestwich, *Geol. Quart. Journ.*, 1847, p. 377.

s'opèrent dans certaines espèces pendant les périodes successives de leur existence. Il paraîtrait que ses diverses variétés caractérisent des formations différentes. Dans le Soissonnais, cette coquille n'atteint qu'une petite taille et se distingue par plusieurs particularités qui disparaissent dans les lits inférieurs du Calcaire Grossier.

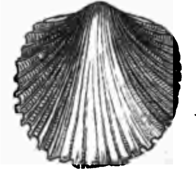



FIG. 241. — *Cardium porulosum*. Bassins de Londres et de Paris.

Dans ceux-ci, elle arrive à sa grosseur totale, et prend des caractères qui se modifient de nouveau dans les couches supérieures du Calcaire Grossier ; ces derniers changements de forme se maintiennent ensuite à travers la série *Marine Supérieure* ou Éocène Supérieur (1).

Argile plastique (C., Tableau, p. 350). — A la base du système tertiaire en France, se trouvent d'immenses dépôts de sables entremêlés parfois de couches d'argile nommée *Argile plastique*. Des huîtres fossiles (*Ostræa bellovacina*) abondent sur quelques points de ce dépôt ; on trouve ailleurs des coquilles fluviatiles comme les *Cyrena cuneïformis*, *Melania inquinata*, etc., communes aux couches qui occupent la même position dans la vallée de la Tamise. Des filets de lignite accompagnent les argiles et sables inférieurs.

Immédiatement au-dessus de la craie qui forme le fond de tout terrain tertiaire en France, on observe généralement un conglomérat ou brèche de silex roulés, anguleux et cimentés par un sable siliceux. Ce conglomérat paraît d'origine littorale et indique les profondes dénudations que la craie a subies. Quant à décider si les sables de Thanet sont véritablement représentés dans le bassin de Paris, c'est une question qui n'a pas encore reçu de solution.

Vaste étendue de la formation nummulitique en Europe, en Asie, etc. — Lorsqu'en 1851 je visitai la Belgique et les

(1) *Coquilles caractéristiques des terrains*, 1831.

Flandres françaises pour comparer les couches tertiaires de ces pays avec les séries de l'Angleterre, je trouvai que tous les lits compris entre les formations de l'Éocène Supérieur ou du Limbourg, et de l'Éocène Inférieur ou Argile propre de Londres, pouvaient être parfaitement divisés en trois sections présentant entre autres caractères paléontologiques trois espèces particulières de Nummulites : *N. variolaria* dans les couches supérieures, *N. lævigata* dans les couches moyennes, et *N. planulata* dans les couches inférieures. J'avais adopté cette classification lorsque je m'aperçus que la superposition de ces trois espèces avait été précédemment reconnue par M. d'Archiac, en 1842, dans le nord de la France. Le même auteur, dans une récente monographie (1), montre qu'un ordre à peu près semblable dans la distribution des mêmes espèces et de plusieurs autres existe au sud de la France et dans les Pyrénées, ainsi que dans les Alpes, les Apennins et l'Istrie. Les couches nummulitiques moyennes sont caractérisées par des espèces plus nombreuses et plus grandes, et les couches supérieures et inférieures par de plus petites espèces.

M. d'Archiac ne décrit pas moins de 52 espèces du genre *Nummulites*, et il les considère comme étant toutes caractéristiques des couches tertiaires auxquelles j'ai donné le nom d'Éocène Moyen. Dans quelques cas rares, certaines d'entre elles s'écartent de ces limites étroites au sein des formations tertiaires soit supérieures, soit inférieures, mais il est douteux qu'aucune d'elles, excepté la *Nummulites intermedia*, qui appartient aussi à l'Éocène Moyen, monte aussi haut que la formation Miocène, ou qu'aucune descende aussi bas que l'Argile de Londres. On n'en a certainement jamais rencontré, à la profondeur des couches marines contemporaines de l'Argile Plastique ou du Lignite, dans aucun des pays où la géologie a été sérieusement étudiée. Cette conclusion est le résultat très inattendu de recherches récentes ; depuis plusieurs années on avait agité la question

(1) *Animaux fossiles du groupe nummulitique de l'Inde.* Paris, 1853.

de savoir si les roches nummulitiques des Alpes et des Pyrénées ne devaient pas être plutôt considérées comme crétacées que comme Éocènes. Feu Alex. Brongniart signala le premier l'identité spécifique de plusieurs coquilles des couches marines des environs de Paris avec celles de la formation nummulitique de la Suisse, quoiqu'il eût observé ces dernières au sommet même des Diablerets, l'une des plus hautes montagnes des Alpes suisses, à plus de 3000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Le calcaire nummulitique des Alpes présente souvent une grande épaisseur et se trouve immédiatement recouvert par une série de schistes de couleur foncée, de marnes et de grès à fucoïdes, ensemble auquel on a donné, en Suisse, le nom de *flysch*.

Les recherches de Sir Murchison dans les Alpes, en 1847, ont démontré que toutes ces couches tertiaires se rencontrent dans les parties les plus disloquées et les plus élevées de cette chaîne, au soulèvement de laquelle on peut assigner ainsi une date relativement moderne.

La formation nummulitique, avec ses fossiles caractéristiques, joue un rôle plus important que n'importe quel autre groupe tertiaire en Europe, en Asie, en Afrique. Elle atteint souvent une épaisseur de plusieurs milliers de mètres, et s'étend des Alpes aux Carpathes. Elle est extrêmement dé-



FIG. 212. — *Nummulites Puschi*, d'Archiac. Peyrehorade (Pyrénées).
a. Surface extérieure d'une Nummulite dont les sections longitudinales se voient dans le calcaire. — *b*. Coupe transversale de la même.

veloppée dans le nord de l'Afrique, en Algérie et dans le Maroc par exemple. On l'a observée en Égypte, où elle a fourni anciennement les carrières exploitées pour la con-

struction des Pyramides, ainsi que dans l'Asie Mineure et à travers la Perse, par Bagdad, jusqu'à l'embouchure de l'Indus. Elle existe non-seulement à Cutch, mais encore dans la chaîne montagneuse qui sépare le Sind de la Perse et que traversent les passages conduisant au Caboul; on l'a même suivie bien plus loin vers l'Est, entre le Bengale Oriental et les frontières de la Chine.

Le docteur T. Thomson a observé des Nummulites à une élévation de 5000 mètres au-dessus du niveau de la mer, dans la partie occidentale du Thibet.

J'ai trouvé moi-même en très grande abondance, sur les versants des Pyrénées, dans un marbre cristallin compacte, une espèce qui a reçu de M. d'Archiac le nom de *Nummulites Puschi*, et qui est commune aux roches du même âge dans les Carpathes.



FIG. 243.
Nummulites exponens, Sow.
(Europe et Inde).

Une autre espèce très grande, la *Nummulites exponens*, Sow., est répandue non-seulement dans le midi de la France, aux environs de Dax, mais en Allemagne, en Italie, dans l'Asie Mineure et à Cutch, enfin jusque dans les monts Sylhet sur les frontières de la Chine.

Dans plusieurs de ces localités, à Cutch par exemple, quelques coquilles telles que la *Nerita conoïdea* accompagnent, comme en France, les Nummulites.

Divers observateurs considèrent la formation nummulitique comme appartenant en partie à l'époque crétacée; cette erreur vient sans doute de la confusion qu'on a faite d'un genre mixte, les Orbitoïdes, avec les véritables Nummulites.

Si l'on admet que la formation nummulitique occupe le milieu de la série Éocène, on est étonné de la date comparativement moderne qui doit être assignée à quelques-unes des grandes révolutions survenues dans la géographie physique de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique septentrionale. Toutes les chaînes de montagnes, comme les Alpes, les Pyré-

nées, les Carpathes et l'Himalaya, dont les couches nummulitiques constituent le centre et les parties les plus élevées, ne durent apparaître qu'après la période de l'Éocène Moyen. Durant cette période, la mer recouvrait les surfaces que ces chaînes occupent aujourd'hui, car les Nummulites et les testacés qui les accompagnent habitaient indubitablement l'eau salée. Avant ces événements, qui convertirent une immense nappe d'eau en continent, l'Angleterre avait été peuplée de différents quadrupèdes, de pachydermes herbivores, de chauves-souris insectivores, d'opossums et de singes.

Presque tous les volcans éteints qui conservent des vestiges de leur forme primitive, ou dont on peut encore suivre les courants de lave, sont beaucoup plus modernes que la faune Éocène dont il est ici question; outre ces monuments superficiels de l'action de la chaleur, les influences plutoniques ont opéré pendant la même période des changements extraordinaires dans la contexture des roches. Certaines portions des couches tertiaires à Nummulites ont passé, dans les Alpes centrales, à l'état de roches cristallines et ont été transformées en marbre, quartz, micaschiste et gneiss (1).

COUCHES ÉOCÈNES DES ÉTATS-UNIS.

Dans l'Amérique du Nord, les formations Éocènes occupent sur les bords de l'Atlantique une étendue d'autant plus considérable qu'on s'avance davantage vers le Sud, depuis le Delaware et le Maryland jusqu'à la Géorgie et l'Alabama. On les rencontre également dans la Louisiane et dans d'autres États situés à l'Est et à l'Ouest de la vallée du Mississipi. A Claiborne, Alabama, plus de quatre cents espèces de coquilles marines, avec différents échinodermes et des dents de poissons, caractérisent l'un des membres de ce système.

(1) Murchison, *Quart. Journ. of Geol. Soc.*, vol. V; — et Lyell, vol. VI, 1850, *Anniversary Address.*

Au nombre des coquilles se trouve en abondance la *Cardita planicosta* (fig. 216); la présence de ce fossile et de quelques autres plus ou moins identiques avec les espèces de l'Europe semble prouver que les couches de Claiborne sont contemporaines du groupe central de Bracklesham en Angleterre, et du Calca ireGrossier de Paris (1).

Plus haut dans la série, est un calcaire remarquable, appelé d'abord *Calcaire à Nummulites*, d'après le grand nombre de corps discoïdaux ressemblant aux Nummulites qu'il contient. M. d'Orbigny classe aujourd'hui ces fossiles dans le genre *Orbitoïde*. Le docteur Carpenter a démontré qu'ils appartiennent au groupe des foraminifères (2); il pense que l'Orbitoïde dont il est ici question (*O. Mantelli*) est de la même espèce que celui de Cutch, dans l'Éocène moyen ou formation nummulitique de l'Inde. La section suivante explique la position des trois subdivisions de la série Éocène, n[os] 1, 2 et 3, dont j'ai pu parfaitement saisir et déterminer les rapports dans le comté de Clarke, entre les rivières Alabama et Tombeckbee.

Le groupe inférieur n° 1 offre une épaisseur de plus de

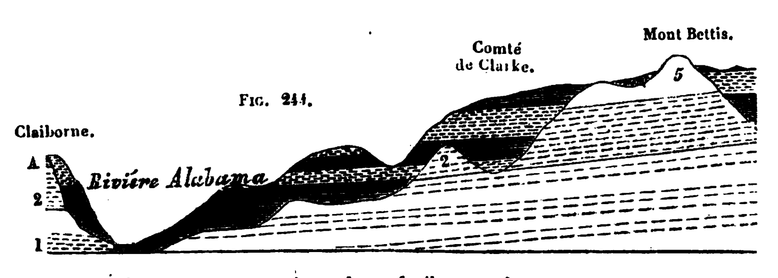


FIG. 244.

1. Sable, marne, etc., avec de nombreux fossiles.
2. Calcaire blanc, ou pierre pourrie, avec *Zeuglodon*.
3. Calcaire nummulitique à Orbitoïdes.
} Éocène.
4. Formation supérieure de sable et d'argile, sans fossiles. Age inconnu.

30 mètres, et comprend des lits de marne dans lesquels on rencontre l'*Ostræa sellæformis*, qui forme un banc depuis

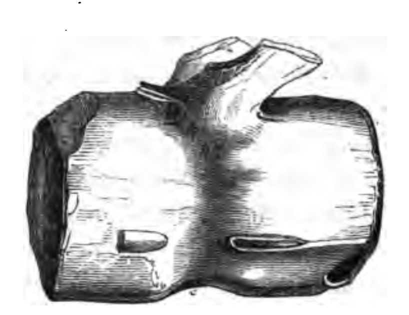
(1) Voyez un Mémoire par l'auteur, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. IV, p 12; et *Second Visit to the United States*, vol. II, p. 59.

(2) *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. VII, p. 32.

l'Alabama jusqu'à la Virginie, et représente l'*Ostræa flabellula* du groupe Éocène d'Europe. Dans d'autres lits du n° 1, on trouve deux coquilles d'Europe, la *Cardita planicosta* et le *Solarium canaliculatum*, ainsi qu'un grand nombre d'espèces particulières à l'Amérique. On y voit également beaucoup de coraux, des débris de poissons placoïdes et de raies, des épées d'espadons; tous ces fossiles affectent une ressemblance générique avec ceux des couches Éocènes d'Angleterre et de France.

Le n° 2 (fig. 244) est un calcaire blanc, souvent tendre et argileux, mais parfois très compacte et exclusivement composé de carbonate de chaux. Il contient plusieurs coraux





Zeuglodon cetoïdes, Owen. — *Basilosaurus*, Harlan.

FIG. 245. — Molaire de grandeur naturelle. FIG. 246. — Vertèbre réduite.

particuliers ainsi qu'un grand Nautile voisin du *N. ziczac;* dans le lit supérieur se trouve un cétacé gigantesque auquel Owen a donné le nom de *Zeuglodon* (1).

Les os de ce cétacé sont tellement abondants dans le comté de Clarke qu'ils caractérisent la formation. La colonne vertébrale d'un squelette trouvé par le docteur Buckley avait près de 21 mètres de long, et, dans le voisinage, on a extrait une autre épine dorsale de 15 mètres environ. Pendant la courte excursion que j'ai faite dans cette localité, j'ai découvert des débris de cet animal fossile dans un si grand

(1) R. W. Gibbes, *Journ. of. Acad. nat. sc. Philad.*, vol. I, 1847.

nombre d'endroits sur un rayon de 15 kilomètres, que je suis porté à conclure que ces débris ont appartenu à plus de quarante individus.

M. Owen a fait remarquer que cet énorme animal n'appartient pas à la classe des reptiles, car chaque dent présente une double racine (fig. 245) implantée dans un double alvéole correspondant; cette opinion a été confirmée depuis par les docteurs Wyman et R.-W. Gibbes.

La découverte d'un crâne entier d'une autre espèce fossile de la même famille a prouvé que ces animaux faisaient partie de la famille des baleines, car ils avaient les doubles condyles occipitaux que l'on remarque exclusivement dans les mammifères, ainsi que les os tympaniques convolutés qui sont particuliers aux cétacés.

Près de la jonction du n° 2 avec le calcaire superposé n° 3, existent des couches caractérisées par les coquilles suivantes : *Spondilus dumosus* (*Plagiostoma dumosum*, Morton), *Pecten Poulsoni*, *Pecten perplanus* et *Ostræa cretacea.*

Le n° 3 (fig. 244) est un calcaire blanc formé en grande partie par l'*Orbitoïdes* de d'Orbigny, et que l'on avait considéré d'abord comme une Nummulite (*N. Mantelli*); ce fossile est mêlé de quelques lunulites, de petits coraux et de coquilles (1). L'origine de cette pierre molle et colorée, comme celle de notre craie blanche, à laquelle elle ressemble beaucoup, me paraît donc devoir être attribuée à la décomposition de ces foraminifères. Les pays où elle abonde présentent la même absence de forêts que l'on remarque sur nos collines de craie; ou bien elle n'est recouverte que par le *Juniperus virginiana*, comme certains districts crayeux le sont, en Angleterre, par l'if et le genévrier.

Quelques-unes des coquilles de ce calcaire sont communes aux lits de Claiborne, mais un plus grand nombre sont particulières au dépôt.

On observera dans la section (fig. 244) que les couches

(1) Lyell, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1847, vol. IV, p. 15.

nos 1, 2 et 3 sont, la plupart du temps, recouvertes d'une épaisse formation de craie ou de sable sans fossiles. Dans certaines parties du *bluff*, ou falaise de la rivière Alabama, à Claiborne, les lits nos 1, 2 sont à découvert du haut en bas, tandis que, sur d'autres points, la formation la plus récente, no 4, forme la tranche presque entière de la falaise. L'absence de restes organiques n'a pas permis de déterminer encore l'âge de cette masse superposée.

Les couches de pierre meulière des États du Midi contiennent une si grande quantité de fossiles se rapportant à ceux de Claiborne, qu'il n'est pas douteux qu'elles appartiennent à cette même division du groupe Éocène; mais je n'ai pas été assez heureux pour préciser les rapports des deux dépôts dans une coupe continue. M. Tuomey les considère comme la portion inférieure de la série. Il existe peut-être une représentation des lits de Claiborne dans les endroits où le calcaire manque et où prédomine la silice provenant de la décomposition du feldspath. On y rencontre des schistes argileux, des sables quartzeux, du limon d'une couleur rouge brique, avec veines de chert ou meulière que l'on exploite comme pierre à moudre.

CHAPITRE XVII.

GROUPE CRÉTACÉ.

Laps de temps qui s'est écoulé entre les périodes Crétacée et Éocène. — Certaines formations en Belgique et en France appartiennent-elles à une époque intermédiaire? — Calcaire Pisolitique. — Divisions de la série Crétacée dans le nord-ouest de l'Europe. — Couches de Maestricht. — Craie de Faxoe. — Craie blanche. — Son étendue géographique et son origine. — Sa formation dans une mer ouverte et profonde. — Jusqu'à quel point dérive-t-elle de coquilles et de coraux. — Galets isolés dans la craie. — Silex de la craie. — *Pierres-pots* de Horstead. — Fossiles des roches Crétacées Supérieures. — Échinodermes, Mollusques, Bryozoaires, Éponges. — Craie du midi de l'Europe. — Calcaire à Hippurites. — Roches crétacées des États-Unis.

Parlons maintenant du groupe secondaire supérieur nommé communément Craie, ou couches crétacées, du mot latin *creta* appliqué à ce calcaire remarquable dans les parties de l'Europe où il a été pour la première fois étudié. La différence marquée qui existe entre les fossiles des terrains tertiaires et ceux des formations crétacées a fait supposer longtemps qu'un nombre infini de siècles s'était écoulé entre les époques de leur création. Si l'on se fonde sur les changements de Faune et de Flore que la terre aurait subis entre les deux périodes, le temps qui aurait séparé le Crétacé et l'Éocène aurait été aussi considérable que celui écoulé entre l'Éocène et les périodes récentes, à l'histoire desquelles nous avons consacré les sept derniers chapitres. On a observé çà et là, pendant la moitié du siècle dernier, des dépôts d'époque intermédiaire entre la Craie blanche et l'Argile plastique avec ses sables des districts de Paris et de Londres. Ces monuments ont pour le géologue le même intérêt que certains faits d'époques intermédiaires pour ceux qui s'occupent de l'histoire des nations; les uns et les autres répandent une certaine lumière sur des âges de ténèbres, précédés et suivis d'autres âges dont les annales nous sont comparativement

bien mieux connues. Mais ces monuments géologiques nouvellement découverts sont loin de combler le vide qui existe; quelques-uns s'allient de très près à l'Éocène, d'autres au type Crétacé; aucun ne paraît, du moins jusqu'à présent, posséder un caractère assez distinct pour obtenir une place indépendante dans la grande série chronologique.

Au nombre de ces formations intermédiaires sont les sables de Thanet (Prestwich). A la même série tertiaire appartiennent aussi les divisions belges que le prof. Dumont nomme Landéniennes et Heersiennes, divisions probablement plus anciennes que les sables de Thanet. D'un autre côté, les calcaires de Maestricht et de Faxoe se lient très étroitement à la Craie, à laquelle de puissantes autorités, en France, ont récemment rapporté le Calcaire Pisolitique.

Les lits du Landénien Inférieur de Belgique se composent de marnes et de sables contenant souvent une grande quantité de terre verte nommée *Glauconie*. On voit de ces lits à Tournay, à Angres près de Mons, et à Orp-le-Grand, Lincent et Landen dans l'ancienne province de Hesbaye, où ils fournissent une pierre à bâtir très durable et d'une légèreté qui en rend le transport facile. Quelques rares coquilles des genres *Pholadomya*, *Scalaria* et autres, se rapportent spécifiquement aux fossiles des sables de Thanet; d'autres, comme l'*Astarte inæquilatera*, Nyst, sont d'espèces particulières. Dans la pierre à bâtir d'Orp-le-Grand, j'ai trouvé un *Cardiaster*, genre qui, d'après M. Forbes, n'était pas encore connu dans les roches plus nouvelles que la *Craie*.

Au village de Heers, près de Waremme en Belgique, et à Marline dans le même canton, il existe une marne ou glauconie calcaire encore plus ancienne que le Landénien Inférieur. On l'a souvent classée dans la série Crétacée, quoiqu'elle ne se soit encore jamais offerte sous un aspect véritablement crétacé, c'est-à-dire avec des fossiles tels qu'Ammonite, Baculite, Bélemnite, Hippurite, etc. Bien que les coquilles en soient pour la plupart d'espèces nouvelles,

elle renferme, suivant M. Hébert, une forme fossile Éocène, la *Pholadomya cuneata*, qui lui assigne une place certaine dans la série tertiaire.

Calcaire pisolitique de France. — Les géologues se sont trouvés bien moins d'accord quand ils ont voulu déterminer les rapports chronologiques de la roche de ce nom, que l'on trouve aux environs de Paris, au Nord, au Midi, à l'Est comme à l'Ouest, par exemple entre les Vertus et Laversine, entre Meudon et Montereau. Elle se présente généralement sous la forme d'un calcaire grossier, de couleur jaunâtre ou blanchâtre, dont l'épaisseur totale est d'environ 30 mètres. Son étendue géographique, suivant M. Hébert, n'a pas moins de 180 kilomètres de l'Est à l'Ouest, et de 150 du Nord au Midi. On ne la rencontre sur cette étendue de pays qu'en petits lambeaux reposant en stratification discordante sur la craie blanche. Dans l'origine, elle fut considérée par M. E. de Beaumont comme crétacée, parce que, de même que la craie blanche, elle avait subi une dénudation antérieure à la période Éocène; mais, se fondant sur l'examen de 54 espèces fossiles, divers paléontologistes, parmi lesquels MM. C. d'Orbigny, Deshayes et d'Archiac, ont déclaré que son caractère était décidément plus tertiaire que crétacé. Plus récemment, M. Hébert ayant trouvé à Montereau, dans la même roche pisolitique, une espèce crétacée, le *Pecten quadricostatus*, à côté d'autres fossiles communs à la craie de Maestricht et au calcaire à Baculites du Cotentin en Normandie, a considéré cette formation comme un membre supérieur du groupe crétacé. Le *Nautilus Danicus* et deux ou trois autres espèces trouvées dans la même roche se rencontrent fréquemment dans celle de Faxoe en Danemark; mais, jusqu'à présent, on n'y a découvert aucun des genres Ammonite, Hamite, Scaphite, Turrilite, Baculite ou Hippurite. Il faut avouer que la proportion des espèces particulières, dont plusieurs ont un aspect tertiaire, est considérable, et la vaste érosion que les eaux ont fait subir à la craie blanche avant la formation du calcaire pisolitique, fournit

une autre preuve du long intervalle de temps qui a séparé les deux dépôts. On peut toutefois regarder la formation pisolitique comme étant d'âge un peu plus rapproché de l'époque secondaire que la roche de Maestricht.

Il faut observer que toutes les couches ci-dessus désignées, depuis le sable de Thanet jusqu'au calcaire pisolitique inclusivement, et même la roche de Maestricht, portent des traces de dénudation éprouvée à différentes époques, postérieurement à la consolidation de la craie blanche. Ce fait expliquerait jusqu'à un certain point l'hiatus remarquable qu'on observe dans la série des roches de l'Europe entre les époques secondaire et tertiaire; un grand nombre de couches qui existaient jadis auront sans aucun doute été enlevées.

CLASSIFICATION DES ROCHES CRÉTACÉES.

On divise généralement le groupe crétacé en séries supérieure et inférieure, chacune d'elles comprenant plusieurs subdivisions caractérisées par des fossiles particuliers qui conservent parfois, sur de vastes étendues, un caractère minéral uniforme. La série supérieure est souvent désignée sous le nom de *Craie*, et l'inférieure sous celui de *Green sand* (*Grès vert*). Cette dernière dénomination provient de la couleur verte produite dans certaines couches par la présence de grains de matière chloritique. Le tableau suivant comprend les sous-divisions les plus communément adoptées.

CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

A. 1. Couches de Maestricht et calcaire de Faxoe.
2. Craie blanche avec silex.
3. Craie marneuse, ou craie grise légèrement argileuse.
4. Grès vert Supérieur avec lits accidentels de chert et marne chloritée (*craie chloritée* des auteurs français) dans la partie supérieure.
5. Gault, y compris les couches de Blackdown.

CRÉTACÉ INFÉRIEUR (ou *Néocomien*).

B. 1. Grès vert Inférieur — Greensand, Ironsand, argile et lits accidentels de calcaire (Rag de Kent).

2. Couches Wealdiennes, ou argile du Weald et sables de Hastings (1).

Couches de Maestricht. — Près des rives de la Meuse, à Maestricht, repose sur la craie blanche ordinaire avec silex, une formation calcaire d'environ 30 mètres d'épaisseur, dont les fossiles forment un ensemble particulier et se distinguent des espèces tertiaires. Quelques-uns sont communs à la craie blanche inférieure, par exemple le *Belemnites mucronatus* (fig. 256) et le *Pecten quadricostatus* que plusieurs géologues considèrent comme une simple variété du *Pecten quinquecostatus* (fig. 271). Outre la Bélemnite, il y a d'autres genres, tels que Baculite et Hamite, qu'on ne trouve jamais dans des couches plus nouvelles que la craie, mais qu'on rencontre fréquemment dans celles de Maestricht. D'un autre côté, on observe les *Voluta*, *Fasciolaria* et autres univalves qui n'existent ordinairement que dans les couches tertiaires.

Au mont Saint-Pierre, dans l'un des faubourgs de Maestricht, la partie supérieure de ces couches se montre sur une épaisseur d'environ 6 mètres et abonde en coraux et en bryozoaires qui se détachent facilement de la gangue. A cette partie supérieure succède un calcaire tendre et jau-

(1) M. Alcide d'Orbigny a proposé de nouveaux noms pour désigner les sous-divisions de la série crétacée ; autant qu'on peut faire concorder ces noms avec les équivalents anglais, on a les parallèles suivants :

Étage Danien.....	Couches de Maestricht.
— Sénonien ...	Craie blanche et marne crayeuse.
— Turonien ...	Partie de la marne crayeuse.
— Cenomanien .	Greensand Supérieur.
— Albien......	Gault.
— Aptien......	Portion supérieure du Greensand Inférieur.
— Néocomien ..	Portion inférieure du même.
— Néocomien inférieur ...	Couches wealdiennes et couches marines contemporaines.

nâtre d'environ 15 mètres d'épaisseur, d'où l'on extrait des blocs de construction. Vers ses assises inférieures il est plus blanc et contient accidentellement des nodules de calcédoine.

M. Bosquet, avec qui j'ai examiné cette formation, m'a fait remarquer une bande de craie de 0m,050 à 0m,100 d'épaisseur, contenant de la terre verte et de nombreuses tiges d'encrines ; cette bande trace une ligne de démarcation entre les couches qui contiennent les fossiles particuliers à Maestricht et celles de la craie blanche inférieure. Cette dernière division se distingue par des lits réguliers de silex noirs, noduleux, et par plusieurs coquilles telles que *Terebratula carnea* (fig. 267) qui manquent absolument dans les lits supérieurs à la bande verte. Quelques-uns

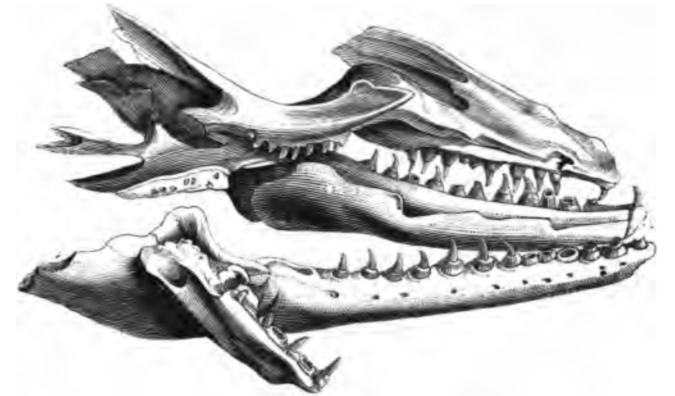


FIG. 247. — *Mosasaurus Camperi.* L'original a 1 mètre environ de longueur.

des restes organiques qui ont rendu célèbre le mont Saint-Pierre se rencontrent au-dessus et au-dessous de cette bande de partage ; on y distingue le grand reptile marin *Mosasaurus* (fig. 247), saurien qui pouvait avoir 7 mètres de longueur, et dont on a trouvé le crâne et une grande portion du squelette. Ces sortes de débris se remarquent principalement dans la pierre de taille tendre qui constitue le membre principal des lits de Maestricht. Au nombre des fossiles communs à la craie de Maestricht et à la Craie blanche, on peut citer l'échinoderme représenté par la figure 248.

J'ai observé des preuves d'une dénudation antérieure de la Craie blanche dans le lit inférieur de la formation de Maestricht, au village de Jendrain, à environ 48 kilomètres S.-O. de cette ville ; dans cette localité, la base du dépôt plus nouveau consistait principalement en une couche de silex de la craie, roulés, noirs, au milieu d'échantillons parfaitement conservés de *Thecidea radians* et de *Belemnites mucronatus*.

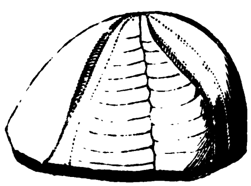


FIG. 248. — *Hemipneustes radiatus*, Agas. *Spatangus radiatus*, Lam. Craie de Maestricht et Craie blanche.

Craie de Faxoe. — Dans l'île de Seeland en Danemark, le membre le plus nouveau de la série crayeuse observé dans les falaises de Stevensklint, où il repose sur la craie blanche avec silex, est un calcaire jaune dont on se sert pour les constructions de Faxoe ; il est composé de coraux plus distincts même que ceux des bancs de coraux modernes. Les travaux de carrière descendent à une profondeur de plus de 12 mètres, mais l'épaisseur totale est encore inconnue. Les coquilles y sont, pour la plupart, à l'état de moules ; un grand nombre appartiennent à des mollusques univalves très rares dans la Craie blanche en Europe. Ce sont deux espèces de *Cypræa*, une d'*Oliva*, deux de *Mitra*, quatre de *Cerithium*, six de



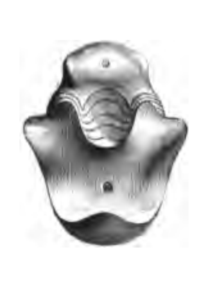




FIG. 249. — *Nautilus Danicus*, Schl. — Faxoe, Danemark.

Fusus, deux de *Trochus*, deux de *Patèlla*, une d'*Emarginula*, etc. ; en somme, plus de trente univalves spiroïdes ou

patelliformes. Quelques bivalves qui les accompagnent, ainsi que des échinodermes et des zoophytes, sont tout à fait identiques avec les fossiles de la véritable série crétacée. Parmi les céphalopodes de Faxoe, nous devons mentionner les *Baculites Faujasii* et *Belemnites mucronatus*, coquilles de la Craie blanche. Le *Nautilus Danicus* (fig. 249) est caractéristique de cette localité; on l'observe aussi en France dans le calcaire pisolitique de Laversine, département de l'Oise.

On rencontre dans la pierre de Faxoe des pattes et des têtes entières d'un petit crabe, *Brachyurus rugosus* (Schlottheim); des crustacés semblables se trouvent dans la roche des récifs madréporiques modernes. Quelques parties de cette dernière formation coralline consistent en craie blanche terreuse, qui évidemment a été produite en même temps que la masse. Ce fait ne manque pas d'une certaine importance, car il se rattache à la théorie de l'origine de la Craie blanche; la décomposition de coraux analogues à ceux de Faxoe a pu fournir un limon blanchâtre que l'on ne saurait distinguer de la craie, et qui aura été dispersé au loin sur le fond de l'Océan, où existaient des récifs de même nature.

Sens. Paris. Vallée de Bray. Hythe. Boulogne. Londres. Herts.

FIG. 250. — Coupe du Hertfordshire (Angleterre), à Sens (France).

Craie blanche (voy. Tableau, p. 371 et suiv.). — Les lits de craie les plus élevés en Angleterre et en France consistent en une masse pure et blanche de calcaire, ordinairement trop tendre pour les constructions, mais qui acquiert parfois une certaine solidité. Cette roche est presque totalement formée de carbonate de chaux; la stratification en est souvent obscure, excepté lorsqu'elle est accusée par des bandes de

silex, ayant quelques centimètres d'épaisseur, continues en surface, ou plus souvent formées de nodules et séparées par des intervalles de 60 à 120 centimètres.

A cette craie supérieure succède ordinairement, dans l'ordre descendant, une grande masse de craie blanche sans silex, après laquelle vient la craie marneuse légèrement mélangée de matière argileuse. En certains endroits du midi de l'Angleterre, l'épaisseur de l'ensemble des trois divisions est de 300 mètres.

La coupe d'autre part (fig. 250) montre comment la craie blanche passe d'Angleterre en France, et comment elle est recouverte par les couches tertiaires précédemment décrites, et superposée aux couches crétacées inférieures.

Etendue géographique et origine de la Craie Blanche. — La surface sur laquelle la Craie blanche conserve un aspect à peu près homogène est tellement considérable que les premiers géologues ont désespéré de découvrir aucun dépôt de date récente qui lui soit analogue. On peut suivre la craie pure vers le Nord-Ouest et le Sud-Est, depuis l'Irlande septentrionale jusqu'à la Crimée, sur une longueur de près de 1500 kilomètres, et, en travers de cette direction, depuis la Suède méridionale jusqu'au sud de Bordeaux, sur une autre longueur de plus de 1100 kilomètres. Dans la Russie méridionale, suivant Sir R. Murchison, cette roche atteint quelquefois une épaisseur de 180 mètres et possède les mêmes caractères minéralogiques qu'en France et en Angleterre; elle contient aussi les mêmes fossiles : *Inoceramus Cuvieri*, *Belemnites mucronatus* et *Ostræa vesicularis*.

Mais, bien qu'elle en occupe, sur une épaisseur plus ou moins considérable, de vastes étendues, ce serait une erreur de croire que la Craie a toujours existé sans discontinuité sur la surface dont nous venons de tracer les limites. Il suffit de jeter un coup d'œil sur ces régions du Pacifique où abondent les récifs de coraux, pour y remarquer certains archipels, comme le Dangereux et celui de Radack, ainsi que les différents groupes voisins qui s'étendent sur une longueur de 1700 à 2000 kilo-

mètres, et sur une largeur de 600. L'espace auquel Flinders a proposé de donner le nom de Mer de Corail est encore plus étendu, car il est limité à l'Est par la barrière australienne, entièrement formée de roche de corail, à l'Ouest par la Nouvelle-Calédonie, et au Nord par les récifs de la Louisiade. Quoique les îles soient assez clair-semées dans ces parages, la vase qui résulte de la décomposition des zoophytes peut être entraînée au loin par les courants de l'Océan. J'ai déjà indiqué la ressemblance de cette vase avec la Craie, et j'ai fait remarquer que certaines portions de la Craie qui, au premier abord, paraissent totalement dépourvues de débris organiques, se montrent, sous le microscope, remplies de fragments de coraux, de bryozoaires, de spongiaires, de valves d'entomostracés, de coquilles de foraminifères et d'infusoires encore plus ténus (voy. p. 43).

Antérieurement à ces observations, on avait soupçonné que la Craie pouvait être d'origine animale, alors même que toute trace de structure organique s'y trouvait effacée. Cette idée hardie se fondait en partie sur ce fait, que la craie consiste en carbonate de chaux tout à fait semblable au produit des détritus des testacés, des échinodermes et des coraux; elle se basait aussi sur le passage à la craie qu'on observe dans ces fossiles lorsqu'ils sont à moitié décomposés. Mais cette hypothèse parut à un grand nombre de naturalistes vague et imaginaire, jusqu'au moment où de nouvelles découvertes vinrent la confirmer.

On sait, par les descriptions du capitaine Nelson, qu'il existe dans les îles Bermudes et dans celles de Bahama, plusieurs bassins ou lagunes environnés et presque clos par des récifs madréporiques. Sur le fond de ces bassins se dépose une vase calcaire, blanche, molle, qui résulte non-seulement de la trituration de corallines (ou plantes calcaires), de coraux, de dépouilles de foraminifères, de mollusques, d'échinodermes et de crustacés, mais encore, comme M. Darwin l'a observé en étudiant les îles de coraux du Pacifique, de la matière fécale rejetée par les échinodermes, le Strombus

géant et les poissons corallophages. Dans les mers des Indes Occidentales, le Strombus (*S. gigas*) fournit un large tribut à la vase crayeuse par le dépôt de ses pelotes fécales composées de menus grains de matière calcaire friable offrant une sorte de structure organique. M. Darwin a décrit des poissons sociétaires du genre *Scarus*, qu'il a vus en légions nombreuses dans les eaux claires des récifs du Pacifique, rongeant paisiblement les coraux vivants de la même manière que les quadrupèdes herbivores broutent le gazon. Leurs intestins, lorsqu'on les ouvre, sont remplis de craie impure. Cette circonstance a de l'intérêt si l'on se rappelle combien les paléontologistes furent embarrassés quand, pour la première fois, ils trouvèrent dans la Craie certains corps qu'ils nommèrent d'abord *cônes de mélèzes*, et dans lesquels Buckland fit voir plus tard des excréments de poissons. Ces coprolites en spirale (fig. 251) sont, comme les écailles et les os de poissons fossiles de la Craie, composés principalement de phosphate de chaux.

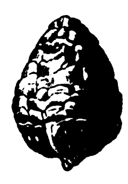



FIG. 251. — Coprolites de poisson, appelés *Julo-eido-copri*, de la craie.

Aux îles Bahama, l'Ange de mer (*Cephalopterus*), l'Unicorne (*Chætodon*) et plusieurs autres se nourrissent de poissons à écailles ou de coraux.

On peut observer aujourd'hui une vase ayant cette origine dans les Atolls des Maldives ; elle est entraînée, par d'étroites ouvertures, des bassins intérieurs des récifs vers l'Océan, et colore les eaux de la mer jusqu'à une grande distance. Une fois desséchée, elle est assez semblable à la craie ordinaire ; si on la soumettait à une pression moyenne, la ressemblance deviendrait probablement plus complète (1).

M. Dana, dans sa description du récif madréporique de

(1) Nelson, *Geol. Trans.*, 1837, vol. V, p. 108 ; et *Geol. Quart. Journ.*, 1853, p. 200.

Oahu, îles Sandwich, dit que certaines variétés de la roche sont composées de coquilles empâtées dans un calcaire compacte de consistance aussi solide qu'un calcaire secondaire, tandis que d'autres variétés ressemblent à la Craie, en présentent la couleur, la cassure terreuse, la texture homogène, le peu de dureté, et fournissent aussi une bonne pierre à écrire. Le même auteur a décrit plusieurs récifs de coraux, aujourd'hui en voie d'accroissement, où se dépose une craie qu'on ne saurait distinguer de la craie ancienne (1). Ce qui favorise surtout l'extension sur de larges surfaces sous-marines des éléments calcaires de la Craie aussi bien que des fossiles qui y sont enfouis, c'est la faible densité des coquilles de mollusques et de zoophytes comparée à celle du sable ordinaire et de la matière minérale. La vase qui dérive de la décomposition de ces fossiles est également plus légère que la vase argileuse et inorganique, et plus facilement transportable par les courants, surtout dans l'eau salée.

Galets isolés dans la Craie. — Nous avons déjà signalé l'absence habituelle de sable et de cailloux dans la Craie blanche ; mais la présence çà et là, dans le sud-est de l'Angleterre, de galets de quartz et de schiste vert a excité, avec raison, l'étonnement des géologues. Si ce sont les flots de la mer et les courants qui ont charrié ces galets des terres qui bordaient autrefois la mer crétacée aux points où nous les rencontrons aujourd'hui, comment se fait-il que ni terre ni limon n'aient été entraînés sur les mêmes points dans le même temps ? Nous ne saurions admettre non plus que ces cailloux roulés aient été transportés par les glaces comme les blocs erratiques (voy. chap. X et XI), car ce transport ferait supposer l'existence d'un climat froid durant la période Crétacée, supposition qui ne s'accorde pas avec le développement luxuriant des grandes univalves cloisonnées, des nombreux coraux, des poissons et autres fossiles de formes propres aux tropiques que l'on y rencontre.

(1) *Geol. of U. S. exploring Exped.*, p. 252 ; 1849.

Dans l'île Keeling, l'une de ces masses isolées de corail qui s'élèvent de l'océan Pacifique, le capitaine Ross a observé un fragment détaché de greenstone (aphanite) au sein de roches qui toutes étaient calcaires; M. Darwin en conclut que ce fragment a dû être amené à sa place actuelle par quelque grand arbre dans les racines duquel il serait resté engagé. Chamisso, l'éminent naturaliste qui accompagna Kotzebue, rapporte que les habitants de l'archipel Radack, groupe d'îles à lacs salés intérieurs situés au milieu du Pacifique, tirent les pierres à aiguiser leurs instruments des racines d'arbres qui viennent échouer sur la plage (1).

On objectera peut-être qu'un mode semblable de transport n'a pu avoir lieu dans la mer crétacée, les arbres fossiles étant rares dans la Craie. On en rencontre cependant à l'état friable ou siliceux, précisément sur les points mêmes où existent des galets; ils ont tout l'air d'avoir flotté jusqu'à une certaine distance, car ils sont ordinairement troués par des mollusques lithophages, tels que le Taret et la Fistulane (2).

Le seul autre mode de transport que l'on puisse admettre est celui qu'auraient opéré des plantes marines. Le docteur Beck m'a raconté que dans le Lym-Fiord (Jutland) le *Fusus vesiculosus* atteint quelquefois jusqu'à 3 mètres, et que ses frondes, partant d'une seule racine, forment une masse de plusieurs mètres de diamètre. Lorsque ces frondes sont étendues, elles sont assez légères pour que des galets d'une certaine grosseur puissent flotter à leur surface et se trouver ainsi transportés assez haut sur le rivage. Le *Fucus giganteus* de Solander (*Macrocystis pyrifera*), si commun dans la Terre du Feu, atteint, au dire du docteur Hooker, la longueur de 213 mètres (3), bien que sa tige ne soit pas plus épaisse que le pouce; on en rencontre souvent des tronçons charriant des coquilles à une distance de plusieurs centaines de kilomètres de la région

(1) Darwin, p. 549. *Kotzebue's First Voyage*, vol. III, p. 155.

(2) Mantell, *Geol. of S. E. of England*, p. 96.

(3) Note, Hooker, *Flora antarctica*, II, p. 464.

où végètent ces fucus. M. Darwin rapporte que, durant le voyage du *Beagle*, en 1834, on a trouvé dans les bras de mer intérieurs de la Terre du Feu certaines de ces plantes auxquelles adhéraient si fortement de grosses pierres détachées qu'on fut obligé de les retirer ensemble du fond de l'eau. Ces pierres étaient si lourdes, qu'une personne seule avait de la peine à les soulever. Des plantes marines se rencontrent dans la formation crétacée, mais jusqu'à présent aucune n'a montré des dimensions aussi considérables.

De ce que les cailloux roulés sont rares dans la Craie blanche d'Angleterre et de France, il ne faudrait pas conclure qu'aucune accumulation contemporaine de sable, de gravier et d'argile ne se soit formée dans les mers européennes; le grès siliceux appelé *quader* supérieur par les Allemands, recouvre une craie argileuse blanche, ou *pläner kalk*, qui ressemble par sa composition et ses débris organiques à la marne crayeuse de la série anglaise. Ce grès contient toutes les coquilles fossiles, communes à notre Craie blanche, que l'on peut s'attendre à trouver dans un fond de mer composé de matériaux aussi hétérogènes; il atteint quelquefois une épaisseur de 180 mètres et, par sa stratification et ses escarpements verticaux, il contribue pour la plus grande part au pittoresque de la Suisse saxonne, dans les environs de Dresde.

Silex de la Craie. — L'origine des lits de silex disposés en bandes continues ou en nodules est plus difficile à expliquer que celle de la Craie blanche. Aucun produit siliceux du même genre n'a encore été rencontré avec le limon crayeux dans les récifs de coraux modernes. Les silex abondent principalement dans la Craie Supérieure, et deviennent plus rares ou finissent par manquer tout à fait à mesure que l'on descend; cette règle toutefois n'est point absolue dans toute l'Europe. Une portion de la silice a pu dériver de la décomposition des éponges et autres zoophytes à squelette siliceux, car il est constant que les spicules ou parties solides de diverses éponges, se rencontrent souvent dans les nodules

de silex et ont servi au moins de points d'attraction à la matière siliceuse lorsque celle-ci se séparait de la vase crayeuse pendant le processus de solidification. Il est encore d'autres sources de silice : les eaux de l'Océan, par exemple, tiennent en dissolution ce principe, fourni par la décomposition des roches feldspathiques (voy. p. 69); d'un autre côté, si l'on pouvait refroidir, au moment où elles se mêlent à la mer, les eaux qui sourdent de son fond, et spécialement celles qui jouissent d'une haute température, on en précipiterait facilement de la matière siliceuse. Néanmoins, la présence de lits de silex noduleux ou tabulaires dans la Craie Blanche, à tant de niveaux distincts, implique une action périodique qui aurait eu lieu sur de larges étendues de l'Océan, mais dont il n'est pas facile de se rendre compte. Il semble que chaque accumulation successive de sédiment calcaréo-siliceux ait eu le temps de se consolider en partie et de subir une nouvelle disposition de ses éléments (les silex plus lourds s'enfonçant plus bas) avant que la couche postérieure soit venue se former: cette explication a été proposée par le docteur Buckland (1).

Une difficulté plus grande encore résulte de la présence de certains gros silex ou *pot-stones* (pierres-pots), comme on les appelle dans le Norfolk, isolés les uns des autres, ou disposés en colonnes presque continues, qui traversent à angles droits les lits ordinaires, horizontaux, des petits silex. J'ai visité, en 1825, plusieurs carrières ouvertes le long de la rivière Bure, près Horstead, à environ 9 kilomètres de Norwich; elles m'ont donné une coupe de la Craie Blanche, continue sur une longueur de 400 mètres, avec une épaisseur de 8 mètres; cette roche était recouverte d'un lit important de gravier. Les pot-stones, dont un grand nombre étaient en forme de poire, avaient habituellement 0m,90 de haut sur 0m,30 de large, et se montraient en rangées parallèles, comme autant de piliers inégalement espacés les uns des autres, ainsi qu'on peut le voir

(1) *Geol. Trans.*, 1re série, vol. IV, p. 413.

dans l'esquisse ci-dessous. Ces rangées n'étaient terminées vers le bas à aucune des profondeurs où j'ai pu les suivre; elles ne l'étaient pas non plus vers le haut, excepté aux endroits où elles étaient coupées brusquement par le lit de gravier. J'ai cassé de ces pot-stones pour en examiner l'inté-

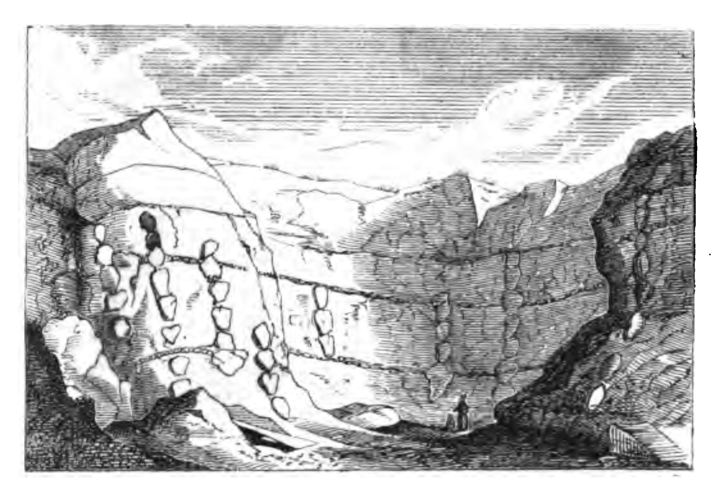


FIG. 252. — Vue d'une carrière de craie à Horstead, indiquant la position des pot-stones.

rieur, et j'y ai trouvé un noyau cylindrique de craie pure, beaucoup plus dure que la craie qui forme la roche environnante, et moins délitescente que celle-ci lorsqu'on l'exposait aux injures de l'air. A 800 mètres de ce point, les piliers verticaux devenaient plus éloignés les uns des autres. Le docteur Buckland a décrit des phénomènes très analogues caractérisant la Craie Blanche sur la côte nord d'Antrim en Irlande (1).

FOSSILES DU TERRAIN CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

Parmi les fossiles de la Craie Blanche, les échinodermes sont très nombreux, et quelques genres comme l'*Ananchytes* (fig. 253) sont exclusivement crétacés. Dans les cri-

(1) *Geol. Trans.*, 1re série, vol. IV, p. 413, *On Paramoudra*, etc.

noïdes, le genre *Marsupites* (fig. 260) est caractéristique. Les céphalopodes ou univalves cloisonnées des genres Am-



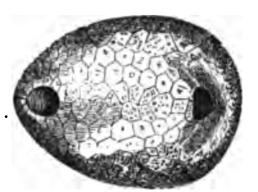


FIG. 253. — *Ananchytes ovatus*. Craie blanche, supérieure et inférieure. *a*. Vu de côté. — *b*. Base du test, sur laquelle sont les ouvertures orale et anale; l'ouverture anale est la plus ronde, et située à l'extrémité rétrécie.

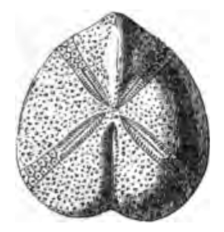
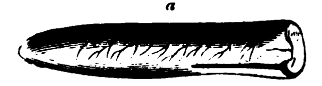


FIG. 254. — *Micraster cor-anguinum*. Craie blanche.



FIG. 255. — *Galerites albogalerus*, Lam. Craie blanche.



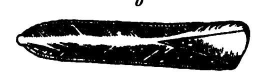


FIG. 256. — *a*. *Belemnites mucronatus*. — *b*. La même, montrant la structure intérieure. Maestricht, Faxoe; Craie blanche.

FIG. 257. — *Baculites anceps*. Grès supérieur, ou marne chloritique, *craie chloritée*. France. Al. d'Orb., Terr. Crét.



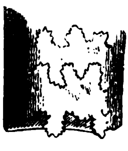


FIG. 258. — Portion du *Baculites Faujasii*. Couches de Maestricht et de Faxoe, et craie blanche.

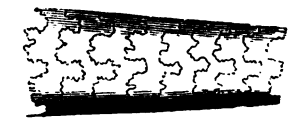


FIG. 259. — Portion du *Baculites anceps*. Couches de Maëstricht et de Faxoe, et craie blanche.

monite, Scaphite, Bélemnite (fig. 256), Baculite (fig. 257 à 259) et Turrilite (fig. 262, 263), ainsi que d'autres formes

voisines des précédentes, diffèrent singulièrement des testacés de la même classe appartenant aux périodes tertiaire et récente.

Parmi les brachiopodes de la Craie Blanche, les térébratules abondent. On sait que ces coquilles vivent au fond de la mer, dans les eaux tranquilles et suffisamment profondes



FIG. 260. — *Marsupites Milleri.* Craie blanche.



FIG. 261. — *Scaphites æqualis.* Marne chloritique, ou Grès Vert Supérieur, Dorsetshire.

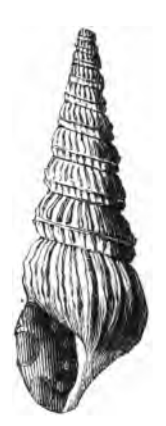
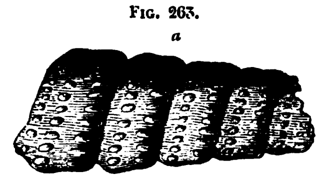


FIG. 262. — *Turrilites costatus.* Craie.

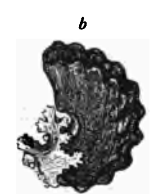
FIG. 263.

a



a. Fragment de *Turrilites costatus.* Marne crayeuse.

b



b. Le même, montrant le bord dentelé des cloisons.

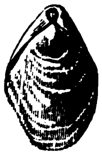


FIG. 264. — *Terebratula Defrancii.* Craie blanche supérieure.



FIG. 265. *Terebratula octoplicata.* (Var. de *T. plicatilis.*) Craie blanche supérieure.

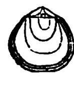


FIG. 266. — *Terebratula pumilus* (*Magas pumilus*, Sow.). Craie blanche supérieure.

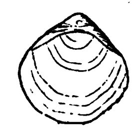


FIG. 267. *Terebratula carnea.* Craie blanche supérieure.

(fig. 264 à 268). On leur trouve associées quelques espèces d'huîtres (fig. 275 à 277) et d'autres bivalves (fig. 269 à 273).



FIG. 268. *Terebratula biplicata*, Sow. Crétacé supérieur.

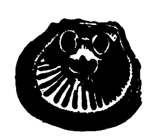


FIG. 269. — *Crania Parisiensis*, valve inférieure ou adhérente. Craie blanche supérieure.



FIG. 270. — *Pecten Beaveri*, réduit à un tiers. Craie blanche inférieure et marne crayeuse. Maidstone.



FIG. 271. — *Pecten quinquecostatus*. Craie blanche ; grès verts supérieur et inférieur.



FIG. 272. — *Plagiostoma Hoperi*, Sow. Syn., *Lima Hoperi*. Craie blanche et grès vert supérieur.



FIG. 273. — *Plagiostoma spinosum*, Sow. Syn.. *Spondilus spinosus*. Craie blanche supérieure.



FIG. 274. — *Inoceramus Lamarckii*. Syn., *Catillus Lamarckii*. Craie blanche (*Geol. Sussex*, de Dixon, tabl. 28, fig. 29).

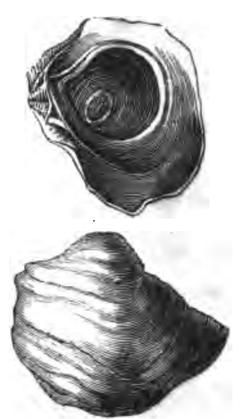
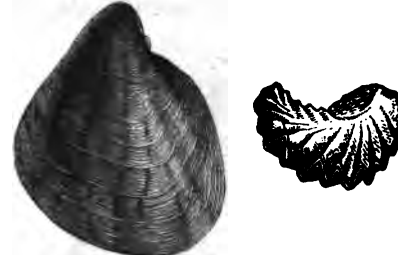


FIG. 275. — *Ostræa vesicularis*. Syn., *Gryphæa globosa*. Craie supérieure et grès vert supérieur.

Aucune forme de mollusque bivalve ne caractérise d'une manière plus frappante l'ère crétacée en Europe, en Amé-

rique et dans l'Inde, que le genre éteint *Inoceramus* (*Catillus*, Lam., fig. 274); les coquilles de ce genre se distinguent





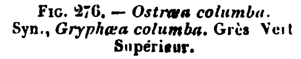


Fig. 276. — *Ostræa columba*. Syn., *Gryphæa columba*. Grès Vert Supérieur.

Fig. 277. — *Ostræa carinata*. Marne crayeuse, Grès verts supérieur et inférieur.

par une texture fibreuse, et souvent on ne les rencontre qu'à l'état de fragments, ce qui prouve qu'elles étaient extrêmement friables.

Fig. 278. Fig. 279. Fig. 280.

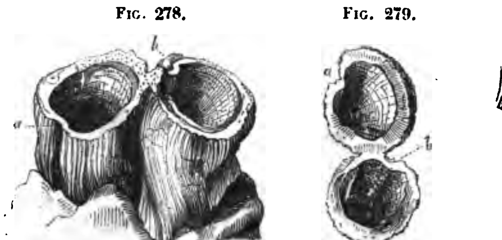


Fig. 281.

Radiolites Mortoni, Mantell. Houghton, Sussex. Craie blanche. Un septième de grandeur naturelle.

Fig. 278. Deux individus privés de leurs valves supérieures, adhérant l'un à l'autre.
279. Les mêmes, vus de dessus.
280. Coupe transversale d'une portion de la paroi de la coquille, grossie pour montrer la structure.
281. Coupe verticale de la même.

Sur le côté où la coquille est la plus mince existent un sillon extérieur et une saillie intérieure correspondante (*a*, *b*, fig. 278, 279); mais ces caractères sont ordinairement moins accusés que ne le représentent les figures. Cette espèce a d'abord été rapportée par Mantell aux *Hippurites*; elle l'a été ensuite au genre *Radiolites*. Je n'ai jamais vu la valve supérieure. L'échantillon ci-dessus figuré a été découvert par feu Dixon.

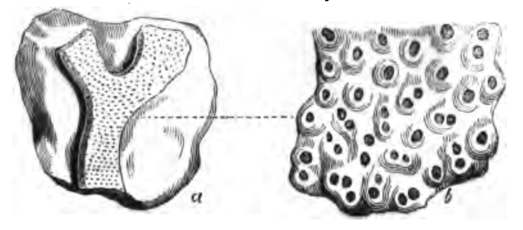


Fig. 282. — *Eschara disticha*. — *a*, Grandeur naturelle. — *b*, Portion grossie. Craie blanche.

De la singulière famille appelée *Rudistes* par Lamarck, et que nous mentionnerons plus loin comme extrêmement caractéristique de la Craie dans l'Europe méridionale, on n'a

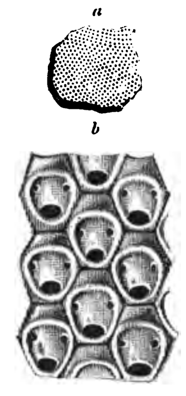


FIG. 283. — *Escharina oceani.*
a. Grandeur naturelle. — b. Portion grossie.
Craie blanche.

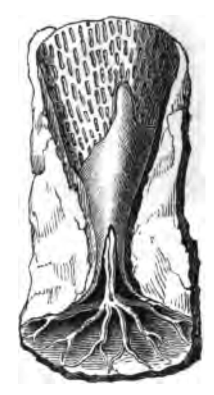


FIG. 284. — *Ventriculites radiatus*, Mantell.
Syn., *Ocellaria radiata*, d'Orb.
Craie blanche.

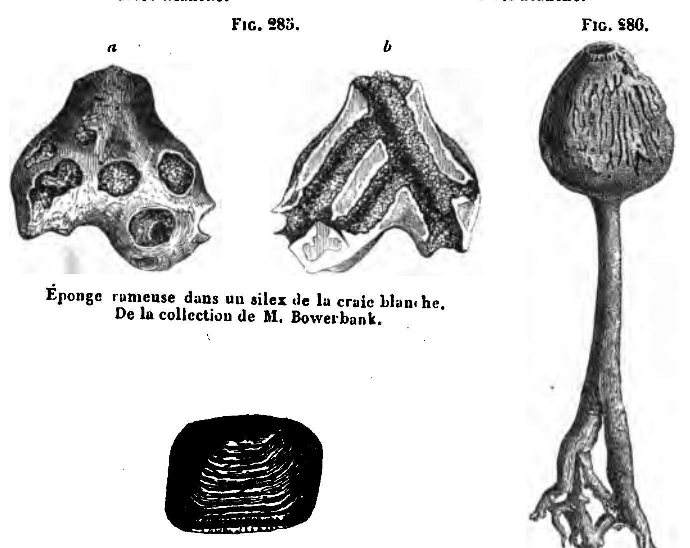


FIG. 285.

Éponge rameuse dans un silex de la craie blanche.
De la collection de M. Bowerbank.

FIG. 286.

Siphonia pyriformis. Marne crayeuse.

FIG. 287. — Dent palatine du *Ptychodus decurrens.*
Craie blanche inférieure. Maidstone.

découvert jusqu'à présent qu'un seul représentant (fig. 278) dans la Craie Blanche d'Angleterre.

Aux mollusques sont associés divers bryozoaires tels que *Eschara* et *Escharina* (fig. 282; 283) également marins et indiquant pour la plupart une mer profonde. Ces corps organiques et d'autres, spécialement des éponges telles que *Ventriculites* (fig. 284) et *Siphonia* (fig. 286), se trouvent indifféremment dans la craie tendre ou dans les silex durs; quelques-uns des nodules siliceux doivent leur irrégularité aux éponges qu'ils renferment, comme le démontre la figure 285, *a*, où des creux extérieurs ont été laissés par les branches d'une éponge qu'a mise à découvert la fracture du nodule (fig. 285, *b*).

Les débris de poissons dans les formations crétacées supérieures consistent principalement en dents de la famille des requins, et se rapportent à des genres dont les uns sont communs au terrain tertiaire et les autres distincts de ce terrain. A ces derniers appartient le genre *Ptychodus* (fig. 287), voisin du requin actuel de Port-Jackson, *Cestracion Phillippi*, dont les dents antérieures (fig. 288, *a*) sont aiguës et tranchantes, tandis que les dents postérieures ou palatines *b* sont plates et analogues à notre fossile (fig. 287).

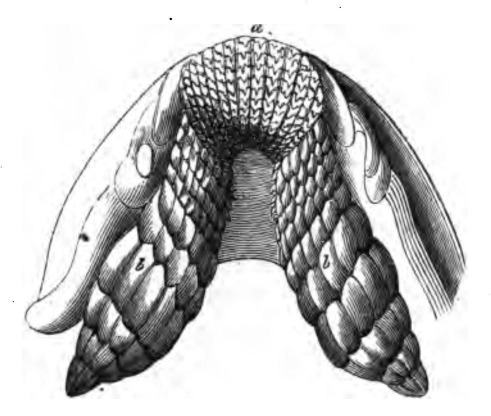


FIG. 288. — *Cestracion Phillippi*, vivant. Port Jackson. Buckland, *Bridgewater Treatise*, pl. 27, *d*.

On remarque dans cette division une absence complète d'ossements d'animaux terrestres, de coquilles terrestres ou

fluviatiles et de plantes autres que les plantes marines; çà et là se rencontrent quelques tronçons de bois flotté. Toutes ces indications conduisent à conclure que la Craie Blanche s'est formée dans une mer ouverte, d'une profondeur considérable.

L'existence dans la Craie Blanche de Maidstone, de tortues et de sauriens ovipares, ainsi que d'un ptérodactyle ou lézard ailé, implique nécessairement le voisinage de quelque terre, de petits îlots disséminés sur l'Océan, comme l'Ascension, jadis si fréquentée par des troupes émigrantes de tortues, et qui auront servi de retraites à ces animaux pour y déposer leurs œufs dans le sable; quant aux espèces volantes, elles auront été entraînées par les vents à la mer. Nous connaissons peu la végétation de ces sortes d'îles, mais elle devait se composer en partie de Cycadées, car le capitaine Ibbetson a trouvé dans la marne crayeuse de l'île de Wight un échantillon appartenant à cette famille, et que M. Ad. Brongniart a rapporté au *Clathraria Lyellii*, Mantell, espèce commune à la période Wealdienne.

Le Ptérodactyle de la craie de Kent offrait des dimensions colossales; ses ailes avaient 5 mètres d'envergure. Quelques-uns de ses os allongés ont été pris, dans les premiers temps, pour des os d'oiseaux; mais aucun fragment bien authentique, appartenant à cette dernière classe, n'a encore été rencontré dans la craie ni dans aucune des formations secondaires ou primaires, excepté peut-être dans le Weald.

Grès vert supérieur (Tableau, p. 171). — Dans le sud de l'Angleterre, la craie inférieure sans silex passe graduellement, vers le bas, à un calcaire argileux « marne crayeuse », dans laquelle apparaissent les ammonites et autres céphalopodes si rares au sein des parties supérieures de la série. A ce dépôt marneux succèdent des couches appelées Grès Vert Supérieur, qui contiennent des particules vertes, sableuses, d'un minéral chloritique. Sur certains points dans le Surrey, la matière calcaire est en forte proportion, et forme une roche appelée *Firestone* (pierre à feu). Dans les

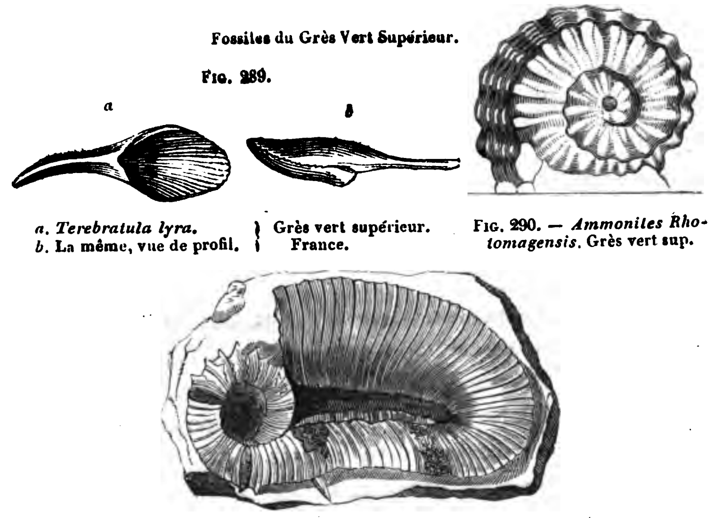
falaises de la côte méridionale de l'île de Wight, ce grès vert supérieur présente une épaisseur de 30 mètres, et contient des bandes de calcaire siliceux et de grès calcaire avec nodules de chert.

MM. Austen et D. Sharpe regardent le Grès Vert Supérieur comme un dépôt littoral de l'océan crétacé, contemporain, par conséquent, d'une partie de la marne crayeuse, et peut-être même d'une partie de la craie blanche. En effet, lorsque les terres vinrent à s'abaisser et la mer crétacée à étendre ses limites, du limon blanc et du sable chloritique continuèrent à se déposer; mais la ligne de rivage dut varier continuellement de position, et bien que le dépôt de sable et de limon fût simultané et s'effectuât, pour l'un près des côtes et pour l'autre à une certaine distance, partout où la plage se trouva submergée le sable put constituer le dépôt inférieur.

Gault. — Le membre inférieur du groupe Crétacé supérieur, qui, dans le S.-E. de l'Angleterre, atteint d'ordinaire 30 mètres de puissance, a reçu le nom de *Gault*. C'est une

Fossiles du Grès Vert Supérieur.

FIG. 289.



a. *Terebratula lyra*. } Grès vert supérieur.
b. La même, vue de profil. } France.

FIG. 290. — *Ammonites Rhotomagensis*. Grès vert sup.

FIG. 291. — *Hamites spiniger* (Fitton), environs de Folkstone. Gault.

marne d'un bleu foncé, quelquefois mêlée de grès vert, et qui contient, entre autres fossiles, plusieurs formes particu-

lières de céphalopodes, telles que *Hamite* (fig. 291) et *Scaphite*. Bien que cette formation présente une épaisseur comparativement faible, on la suit en Europe jusqu'à de très grandes distances, jusqu'aux Alpes par exemple.

Les *couches de Blackdown* dans le Dorsetshire, célèbres par plusieurs espèces de fossiles que l'on ne rencontre dans aucune autre localité, ont été généralement rapportées au Grès Vert Supérieur parce qu'elles lui ressemblent par leur caractère minéralogique, mais M. Sharpe les considère avec raison comme un équivalent du Gault, et pense qu'elles se sont formées le long d'une côte sur les points plus profonds de laquelle se déposait le limon fin appelé Gault. Plusieurs des espèces fossiles de Blackdown, comme la *Trigonia caudata* (fig. 299), sont communs au crétacé Inférieur. M. d'Archiac nous apprend qu'en France, à Mons, dans la vallée de la Loire, se trouvent certaines couches de grès vert, contemporaines de celles de Blackdown, et qui contiennent un grand nombre de fossiles identiques. Il regarde cette formation comme étant également d'origine littorale (1).

Le phosphate de chaux que l'on rencontre à Farnham, Surrey, en si grande abondance que l'agriculture l'emploie comme engrais, existe exclusivement, suivant M. Austen, dans le grès vert supérieur et le gault. Sans aucun doute, il est d'origine animale, et résulte en partie de coprolites de poissons.

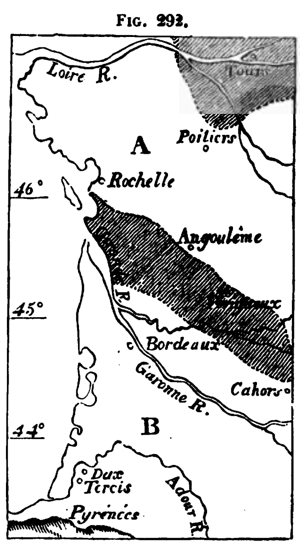
CALCAIRE A HIPPURITES.

Différence entre la craie du nord et celle du midi de l'Europe. — A l'aide des trois caractères qui servent à distinguer l'âge relatif, savoir : la superposition, la nature minéralogique et les fossiles, le géologue peut hardiment rapporter à la même période Crétacée certaines roches du nord et du midi de l'Europe, qui diffèrent cependant d'une manière notable par leurs débris organiques, leur composition et leur structure.

(1) *Histoire des progrès de la Géologie*, etc., vol. IV, p. 360, 1851.

Si nous essayons de suivre les dépôts crétacés depuis l'Angleterre et la France jusqu'au littoral de la Méditerranée, nous verrons d'abord que la craie et le grès vert des environs de Londres et de Paris forment une vaste masse continue, car le Pas-de-Calais n'est, après tout, qu'une vallée flanquée de falaises crayeuses sur ses deux côtés. Nous remarquerons ensuite que le massif principal de craie qui environne Paris s'étend de Tours à Poitiers (fig. 292, dans laquelle les portions ombrées représentent la craie).

FIG. 292.



Entre Poitiers et la Rochelle, l'espace indiqué A sépare deux régions crayeuses. Il est occupé par l'Oolite et quelques autres formations plus anciennes que la Craie ; M. E. de Beaumont suppose qu'il formait jadis une île dans la mer crétacée. Au midi du même espace, on rencontre une formation que nous assimilerons par ses caractères minéralogiques à la craie, bien que, sur certains points, la roche passe à la structure oolitique. Les fossiles de cette formation et ceux de la craie sont, en somme, parfaitement semblables, surtout certaines espèces des genres *Spatangus*, *Ananchytes*, *Cidarites*, *Nucula*, *Ostræa*, *Gryphæa* (*Exogyra*), *Pecten*, *Plagiostoma* (*Lima*), *Trigonia*, *Catillus* (*Inoceramus*) et *Terebratula* (1). Mais, comme le fait observer M. d'Archiac, les *Ammonites*, dont on rencontre de si nombreuses espèces dans la craie du nord de la France, sont toujours très rares dans la région du sud : les genres *Hamite*, *Turrilite* et *Scaphite*, peut-être aussi la *Bélemnite*, y manquent totalement.

(1) D'Archiac, *Sur la Form. Crét. du sud-ouest de la France* (*Mém. de la Soc. géol. de France*, t. II).

D'un autre côté, certaines formes communes dans la région méridionale de la France sont rares ou manquent totalement dans la région septentrionale, particulièrement plusieurs *Hippurites*, *Sphérulites* et autres membres de la

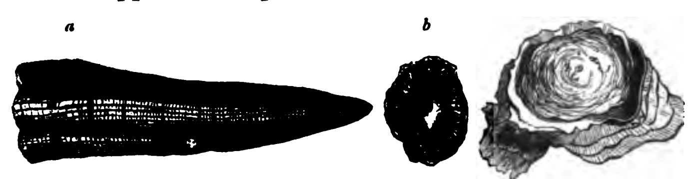


FIG. 293. — *a. Radiolites radiosus*, d'Orb. (*Hippurites*, Lam.). — *b.* Valve supérieure du même. Craie blanche de France.

FIG. 294. — *Radiolites foliaceus*, d'Orb. Syn. *Sphærulites agariciformis*, Blainv. Craie blanche de France.

grande famille des *Rudistes* (Lamarck), laquelle n'offre aucun représentant dans la création vivante, mais caractérise tout à fait les roches crétacées dans le midi de la France,

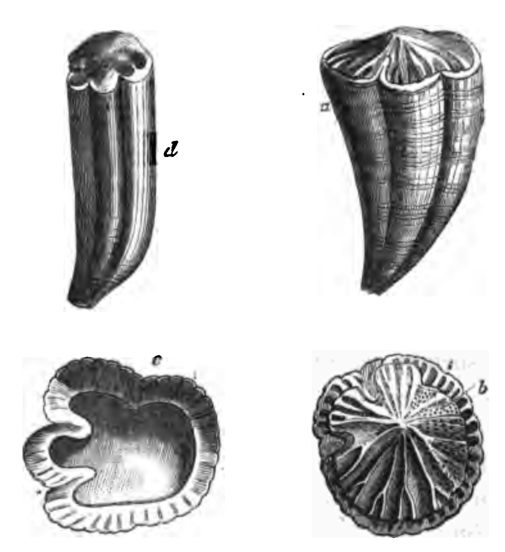


FIG. 295. — *Hippurites organisans*, Desmoulins. Craie supérieure. — Marne crayeuse des Pyrénées ? (1).

a. Jeune individu ; à l'état de développement complet, les coquilles se groupent en adhérant latéralement les unes aux autres. — *b.* Face supérieure de la valve supérieure, montrant une disposition réticulée sur les points *b* où l'on a ôté la croûte extérieure. — *c.* Extrémité supérieure, autrement dit ouverture de la valve inférieure, cylindrique. — *d.* Moule intérieur de la valve conique inférieure.

(1) D'Orbigny, *Paléontologie française*, pl. 533.

en Espagne, en Sicile, en Grèce et dans d'autres contrées bordant la Méditerranée.

L'espèce appelée *Hippurites organisans* (fig. 295) est plus abondante qu'aucune autre dans le midi de l'Europe ; le géologue doit donc se familiariser avec la forme représentée par le moule *d*, beaucoup plus commun dans divers marbres compactes de la période crétacée supérieure que la coquille même, laquelle a souvent disparu totalement. Les cannelures et côtes arrondies, lisses, longitudinales, de la forme intérieure, dans cette espèce d'Hippurite, sont tout à fait différentes de celles de l'extérieur, et atteignent, chez quelques individus, de grandes dimensions en longueur et en largeur.

Entre la région crayeuse sur laquelle est situé Périgueux, et les Pyrénées, intervient un autre espace, B (fig. 292), occupé par des couches tertiaires qui cachent les roches crétacées, excepté sur les points où celles-ci ont été mises à découvert par la destruction des formations plus récentes. Sur ces points, les roches crétacées présentent encore tous les caractères particuliers à la craie blanche, mais elles sont pénétrées de grains verts. Jusqu'à Tercis, sur l'Adour, près de Dax, M. Grateloup a trouvé, au sein des couches, l'*Ananchites ovata* (fig. 253) et d'autres fossiles de la craie d'Angleterre, en même temps que des *Hippurites*.

ROCHES CRÉTACÉES DANS LES ÉTATS-UNIS.

Si nous nous transportons sur le continent d'Amérique, nous trouverons dans l'État de New-Jersey une série de couches sableuses et argileuses qui diffèrent du tout au tout de notre système Crétacé Supérieur, et que nous pourrons néanmoins, au point de vue paléontologique, classer dans la même division. MM. Morton et Conrad, qui ont étudié les fossiles de ces couches en 1834, ont estimé qu'elles étaient en général du même âge que la Craie et le Grès Vert d'Europe. La formation consiste principalement en grès vert et marne verte que recouvre un calcaire corallin jaune-pâle : les

fossiles se rapportent, pour la plupart, à ceux de nos séries Européennes, depuis les lits de Maestricht jusqu'à ceux du Gault inclusivement. J'ai recueilli moi-même, en 1841, soixante coquilles des dépôts du New-Jersey ; cinq d'entre elles étaient identiques avec nos espèces d'Europe : c'étaient l'*Ostræa larva*, *O. vesicularis*, *Gryphæa costata*, *Pecten quinquecostatus* et *Belemnites mucronatus*. Comme quelques-unes de ces coquilles présentent en Europe un très grand développement dans le sens vertical, il ne faut pas s'étonner de les voir reparaître plus fréquemment que les autres dans les régions du globe les plus éloignées.

Même lorsque les espèces diffèrent, on reconnaît dans les formes génériques un caractère décidément crétacé, comme chez les Baculites, certaines Ammonites, l'*Inoceramus* (fig. 274) et plusieurs autres bivalves. Quinze des soixante espèces précitées sont regardées par M. Forbes comme d'excellents représentants géographiques de fossiles crétacés bien connus d'Europe. On trouvera ces rapports déjà passablement intimes si l'on considère que la région des États-Unis où la formation existe, est située à 5 ou 6000 kilomètres de la Craie de l'Europe centrale et septentrionale, et qu'il y a une différence de 10° de latitude entre les points que l'on compare, d'un bord de l'Atlantique à l'autre (1).

Les poissons des genres *Lamna*, *Galeus* et *Carcharodon*, les reptiles du genre *Mosasaurus* sont communs aux couches de New-Jersey et aux roches crétacées d'Europe. On y joint souvent le *Plesiosaurus*, reptile connu dans la Craie anglaise, et dont, suivant le docteur Harlan, on aurait rencontré une vertèbre dans la marne crétacée de Mullica Hill, New-Jersey. Mais le docteur Leidy a démontré que l'os en question ne provenait pas d'un saurien, mais d'un cétacé. La découverte d'un autre mammifère de la tribu des veaux marins (*Stenorhynchus vetus*, Leidy) dans un lit inférieur de la série crétacée du New-Jersey paraît mieux constatée (2).

(1) Voyez un Mémoire par l'auteur : *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. I, p. 79.

(2) Dans les *Principes de Géologie*, 9e édition, p. 45, j'ai cité le docteur

Du New-Jersey, la formation crétacée s'étend au Sud, jusqu'à la Caroline du Nord et à la Géorgie, traversant par intervalles les couches tertiaires entre les monts Appalaches et l'Atlantique. Elle contourne ensuite l'extrémité de cette chaîne, dans l'Alabama et le Mississipi, et revient par le Nord dans le Tennessee et le Kentucky. On l'a reconnue dans le haut de la vallée du Missouri, par le 48e degré de latitude, c'est-à-dire vers le fort Mandan; de telle sorte, qu'avec les limites qu'on lui a déjà tracées jusqu'à ce jour dans l'Amérique du Nord, elle égale peut-être en étendue la formation crétacée d'Europe, et excède, aux États-Unis, le développement des terrains fossilifères de tout autre âge. Cette formation diffère tellement de la Craie Blanche d'Europe par le caractère minéralogique, que, dans l'Amérique du Nord, la pierre à chaux (*limestone*) ne se trouve que par exception. Dans l'Alabama même, où j'ai vu un membre calcaire de ce groupe, composé de pierres marneuses, il ressemblait plus au lias d'Angleterre et de France qu'à un autre dépôt secondaire d'Europe.

A la base du système, dans l'Alabama, j'ai observé des masses épaisses de cailloux entièrement meubles provenant de la dégradation des roches paléozoïques (ou carbonifères), et que l'on ne pouvait distinguer de l'alluvium ordinaire que

Leidy de Philadelphie comme ayant décrit (*Proceed. of Acad. Nat. Sc. Philad.*, 1851) deux espèces de cétacés originaires du grès vert du New-Jersey, et constituant un nouveau genre qu'il avait appelé *Priscodelphinus*. En 1853, j'ai vu à Philadelphie les deux vertèbres d'après l'examen desquelles ce genre avait été fondé; avec l'aide de M. Conrad, j'ai assigné l'une d'elles à une exploitation de marne *Miocène* du comté de Cumberland, New-Jersey. L'autre vertèbre, étiquetée dans le musée : *Mullica Hill*, est sans aucun doute un fossile crétacé, si véritablement elle provient de la localité indiquée ; mais son état minéralogique suscite des doutes à ce sujet. La dent de *Stenorhynchus vetus* figurée par Leidy, d'après un dessin de Conrad (*Proceed. of Acad. Nat. Sc. Phil.*, 1853, p. 377), a été trouvée par Samuel R. Wetherill, Esq., dans le grès vert, à environ 2 kilomètres et demi sud-est de Burlington. Ce naturaliste nous a raconté, à M. Conrad et à moi, les circonstances dans lesquelles il l'a rencontrée : elle était associée avec les *Ammonites placenta*, *Ammonites Delawarensis*, *Trigonia thoracica*, etc. La dent a été égarée, mais elle avait déjà excité beaucoup d'intérêt et avait été examinée avec soin par d'habiles zoologistes.

par leur position; elles étaient recouvertes de marnes où abondaient les *Inocérames*.

Dans le Texas, selon F. Roemer, la craie présente encore un autre caractère lithologique, et se compose en grande partie d'un calcaire dur siliceux, mais les débris organiques ne laissent aucun doute sur son âge : ce sont le *Baculites anceps* et dix autres espèces communes à l'Europe.

Dans l'Amérique du Sud, à Bogota, Colombie, et ailleurs, on a découvert des couches contenant des Ammonites, Hamites, Inocérames et autres coquilles caractéristiques (1).

Dans le Sud de l'Inde, à Pondichéry, Verdachellum et Trinconopoly, MM. Kaye et Egerton ont recueilli des fossiles appartenant au système crétacé. Comparés avec ceux des États-Unis, ils prouvent, dit M. Forbes, que les causes qui ont imprimé un cachet particulier aux formes des animaux marins de cette période ont prévalu à la fois dans les mers de l'Inde, de l'Europe et de l'Amérique (2).

Dans l'Inde comme dans le Nord et le Sud de l'Amérique, on reconnaît aisément le caractère crétacé, même en l'absence de toute identité spécifique entre les fossiles, et l'on peut en dire autant, quant au type organique, des roches qui, en Europe et dans l'Inde, touchent la Craie, soit dans l'ordre ascendant, soit dans l'ordre descendant, comme celles de l'Éocène et de l'Oolite.

(1) *Proceed. of the Geol. Soc.*, vol. IV, p. 391.
(2) Forbes, *Quart. Geol. Journ.*, vol. I, p. 79.

CHAPITRE XVIII.

FORMATIONS CRÉTACÉE INFÉRIEURE ET WEALDIENNE.

Grès Vert Inférieur. — Néocomien. — Coupe d'Atherfield (île de Wight). — Fossiles du Grès Vert Inférieur. — Formation wealdienne. — Couches d'eau douce intercalées entre deux groupes marins. — Argile du Weald et Sables de Hastings. — Coquilles fossiles, poissons et plantes du Weald. — Leurs rapports avec le type crétacé. — Étendue géographique du Weald. — Mouvements dans la croûte terrestre auxquels le Weald doit son origine et sa submersion. — Flore des périodes Crétacée Inférieure et Wealdienne.

On avait généralement donné le nom de *Grès Vert Inférieur* à la portion de la série Crétacée plus ancienne que le Gault, mais on s'est plaint des inconvénients d'une dénomination qui s'appliquait à des couches dont un grand nombre en Angleterre et dans d'autres contrées de l'Europe manquent de particules vertes. De plus, une sous-division du groupe crétacé supérieur avait également reçu le nom de Grès Vert, et pour éviter toute confusion on avait dû introduire dans la science les termes de Grès Vert Supérieur et Grès Vert Inférieur. Ces désignations semblaient impliquer comme valeur une sorte de parité qui n'existe pas, car le Grès Vert Inférieur, dans la plus large acception du mot, comprend une série presque aussi importante que le groupe crétacé supérieur tout entier, depuis le Gault jusqu'aux couches de Maestricht inclusivement, tandis que le Grès Vert Supérieur n'est qu'un membre subordonné de ce même groupe. Quelques géologues éminents ont donc proposé de remplacer le nom de Grès Vert Inférieur par celui de *Néocomien*, emprunté au développement considérable que présentent près de Neuchâtel (Neocomum), en Suisse, ces couches du Grès Vert Inférieur, un des éléments principaux des montagnes du Jura. Les mêmes géologues classent les couches du Weald dans le *Néocomien Inférieur*, classification qui nous paraîtra rationnelle lorsque nous expliquerons les rapports intimes qui existent entre les fossiles du Grès Vert Inférieur et ceux du Weald.

Le docteur Fitton, dans la monographie de la formation Crétacée Inférieure (ou Grès Vert) de l'Angleterre, donne le tableau suivant de la succession des roches dans quelques parties du comté de Kent :

N° 1. Sable blanc jaunâtre ou ferrugineux avec concrétions calcaires et chert	21 mètres.
2. Sable avec matière verte	21 à 30 mètres.
3. Pierre calcaire, appelée Rag de Kent	18 à 24 mètres.

Dans sa description détaillée de la belle coupe d'Atherfield, au Sud de l'île de Wight, on remarque l'absence complète du calcaire ; en somme, les variations dans la composition minérale de ce groupe, même dans des districts contigus, sont très grandes ; et quand on compare les couches d'Atherfield avec celles de Hythe (Kent), à une distance de 150 kilomètres, on voit que la série, dans son ensemble, offre un aspect très différent (1).

D'un autre côté, M. Forbes a démontré que dans les soixante-trois couches d'Atherfield, dont l'épaisseur totale est de 275 mètres, quelques fossiles sont répandus dans toute la série, et d'autres sont particuliers à telle ou telle division. Comme preuve de l'identité chronologique de l'ensemble du système, il a établi que, toutes les fois que des conditions semblables se reproduisent dans les couches formées en dernier lieu, les mêmes espèces reparaissent. Les changements dans la profondeur ou dans la nature minérale du lit de la mer, la présence ou l'absence de chaux ou de peroxyde de fer, l'existence d'un fond boueux, sablonneux ou graveleux, coïncident avec l'exclusion de certaines espèces et la prédominance de quelques autres. Mais ces différences de conditions sont, de leur nature, minérales, chimiques et locales ; elles n'ont pu amener l'extinction de certains animaux ni de certaines

(1) Docteur Fitton, *Quart. Geol. Journ.*, vol. I, p. 179 ; II, p. 55, et III, p. 289. L'auteur donne dans ce travail des coupes comparatives et un tableau montrant la disposition, dans le sens vertical, des divers fossiles du Grès vert inférieur, à Atherfield.

plantes dans un périmètre étendu. La règle que propose cet éminent naturaliste pour reconnaître l'établissement d'un nouvel ordre de choses dans le monde animé est basée sur la représentation des genres correspondants de mollusques et autres êtres organiques par des espèces nouvelles et différentes. Lorsque les formes propres à un sable meuble ou à une argile molle, à un fond calcaire ou pierreux, à une eau basse ou de profondeur considérable, reviennent avec l'ensemble de toutes les mêmes espèces, le temps qui s'est écoulé pendant l'accumulation a dû être, géologiquement parlant, très court, quelque considérable que soit la masse accumulée. Mais si, les genres restant les mêmes, les espèces ont changé, on est en droit de supposer une nouvelle période, et alors ni ressemblance de climat, ni similitude de conditions géographiques ou locales ne peuvent plus rappeler les espèces anciennes, qu'une longue série de causes destructives ont graduellement anéanties. En passant du Grès vert Inférieur

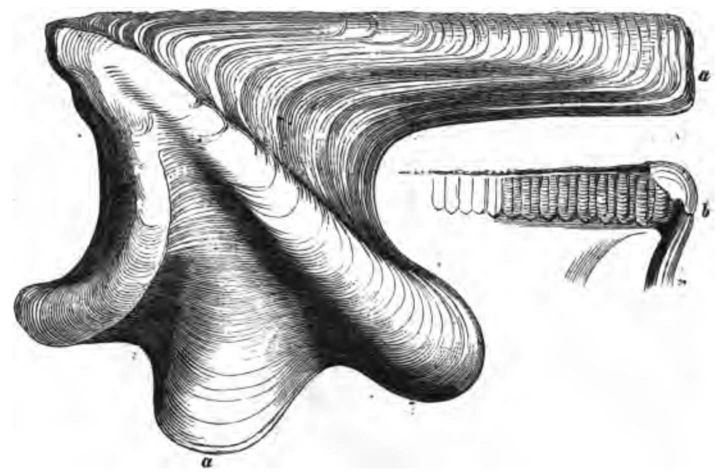


FIG 296. — *Perna Mulleti*, Desh. in Leym. (Fig. réduite.)
a Extérieur. — *b*. Portion de charnière de la valve supérieure.

au Gault, on rencontre tout à coup un de ces changements de période, car presque aucune des espèces fossiles n'est commune aux systèmes crétacés supérieur et inférieur; cet hiatus ne laisse aucun doute sur l'absence de plusieurs chaînons

dans la série des monuments géologiques ; peut-être un jour pourrons-nous les rattacher.

L'une des coquilles les plus abondantes dans les couches tout à fait inférieures du Grès vert Inférieur d'Atherfield est la grande *Perna Mulleti* (fig. 296).

Dans le sud de l'Angleterre, pendant l'accumulation du Grès Vert Inférieur, le lit de la mer paraît avoir baissé d'une manière continue, depuis le commencement de la période où les couches d'eau douce du Weald furent submergées, jusqu'au dépôt des couches sur lesquelles le Gault repose immédiatement.

Des galets de grès quartzeux, de jaspe, de schiste siliceux, en même temps que des grains de chlorite et de mica, indiquent suffisamment la nature des roches dont la destruction donna naissance aux couches de Grès Vert. La submersion du sol composé de ces roches fut sans aucun doute antérieure à la formation de la Craie Blanche, dont le dépôt dut s'effectuer dans une mer plus ouverte et dans des eaux plus limpides.

Les fossiles du Crétacé Inférieur diffèrent, pour la plupart, spécifiquement, de ceux du Crétacé Supérieur.

Parmi les premiers, on rencontre fréquemment le genre *Scaphites* (fig. 297) ou *Ancyloceras*, décrit à juste raison

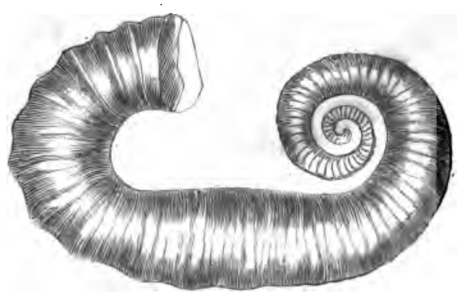


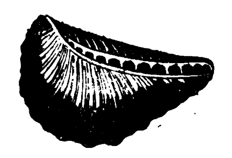
FIG. 297. — *Scaphites gigas*, Sow. Syn., *Ancyloceras gigas*, d'Orb.

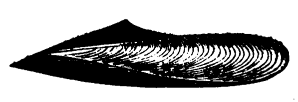


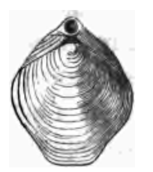
FIG. 298. *Nautilus plicatus*, Sow., dans la *Monographie* par Fitton.

comme une Ammonite plus ou moins développée ; le *Nautilus plicatus* (fig. 298), la *Trigonia caudata* qui se trouve

également dans les lits de Blackdown; enfin une *Gervillia*, genre bivalve voisin de l'*Avicula*.


FIG. 299. — *Trigonia caudata*, Agass.


FIG. 300. — *Gervillia anceps*, Desh.


FIG. 301. — *Terebratula sella*, Sow.

FORMATION WEALDIENNE.

Au-dessous du Grès Vert Inférieur, on observe dans le S.-E. de l'Angleterre, une formation récente qu'on nomme Weald (nos 5 et 6, fig. 320). Bien que son étendue horizontale en Europe soit limitée, comparativement à la Craie Blanche et au Grès Vert, cette formation présente un grand intérêt géologique, car les restes organisés qu'elle contient jettent quelque lumière sur la nature de la faune et de la flore terrestre de l'époque Crétacée Inférieure. On a donné le nom de Wealdien à ce groupe parce qu'il a été primitivement étudié dans certaines parties des comtés de Kent, de Surrey et de Sussex, appelées Weald. Le docteur Mantell montra dès 1822, dans sa Géologie du Sussex, que le groupe entier était d'origine fluviatile. S'appuyant sur l'absence totale des Ammonites, Bélemnites, Térébratules, Échinites, Coraux et autres fossiles marins qui caractérisent si bien les roches crétacées situées au-dessus et les couches oolitiques gisant au-dessous, ce savant fit ressortir, par contre, la présence dans le Weald des Paludines, Mélanies et autres coquilles fluviatiles, ainsi que des ossements de reptiles terrestres, et des plantes de même genre.

Cette position si inattendue d'une masse épaisse d'origine d'eau douce au-dessous d'un dépôt formé dans une mer profonde constituait un phénomène avec lequel nous nous sommes familiarisé depuis, mais qui fut d'abord accueilli avec incrédulité. Cependant la situation relative des lits ne

permettait pas l'équivoque ; on voyait distinctement la Craie passer au-dessous du Grès vert Inférieur en différents endroits des comtés de Surrey, de Kent et de Sussex, et reparaître dans l'île de Wight à la base de la série Crétacée, s'étendant probablement au-dessous de la surface du pays, comme l'indiquent les lignes ponctuées du diagramme que nous reproduisons ici (fig. 302).

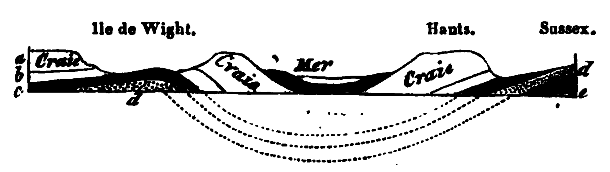


FIG. 302.
a. Craie. — *b.* Grès Vert. — *c.* Argile du Weald. — *d.* Sables de Hastings.
e. Couches du Purbeck.

Le Weald peut se diviser en deux sous-groupes :

1° Argile du Weald, principalement argileuse, mais renfermant quelquefois des lits minces de sable et de calcaire coquillier avec *Paludina*.. 40 mètres.
2° Sables de Hastings, principalement arénacé, mais dans lequel on trouve accidentellement de l'argile et des grès grossiers calcaires (1)................................. 120 à 300 —

Dans le S.-E. de l'Angleterre, immédiatement au-dessous du Weald, on rencontre une autre formation d'eau douce appelée le Purbeck, consistant en différentes sortes de calcaire et de marne, et contenant des espèces particulières de mollusques, *Cypris* et autres fossiles. Comme il est aujourd'hui constaté que cette formation appartient plutôt, par ses débris organiques, à la série Oolitique qu'à la série Crétacée, nous en parlerons dans le chapitre XX.

Argile du Weald.

La division supérieure, ou Argile du Weald, doit exclusivement son origine à l'eau douce ; non-seulement ses lits supérieurs concordent par leur stratification avec les couches inférieures du Grès Vert Inférieur, mais encore ils sont d'une

(1) Docteur Fitton, *Geol. Trans.*, 2ᵉ série, vol. IV, p. 320.

composition minérale tout à fait semblable. Pour expliquer ce fait, on suppose que le delta d'une grande rivière étant en voie d'abaissement assez tranquille pour permettre à la mer d'empiéter sur l'espace occupé primitivement par l'eau douce, la rivière continuait néanmoins de charrier les mêmes sédiments à la mer. Ce qui appuie cette supposition, c'est que des restes de l'*Iguanodon Mantelli*, reptile terrestre gigantesque qui caractérise parfaitement le Weald, ont été découverts près de Maidstone dans le Crag de Kent, ou calcaire marin du Grès Vert Inférieur qui est au-dessus du Weald; quelques-uns des sauriens qui habitaient le pays arrosé par la grande rivière auraient donc continué d'exister après que ce pays eut été submergé par la mer. C'est ainsi que, de nos jours, des ossements d'énormes alligators sont ensevelis dans les couches d'eau douce du delta du Gange. Mais qu'une portion de ce delta, venant à s'abaisser, se trouve couverte par les eaux de la mer, des formations marines s'accumuleront sur l'emplacement même où se déposaient des lits d'eau douce, pendant que le Gange continuera de lancer ses eaux troubles dans la même direction et de porter vers la mer les squelettes des mêmes espèces d'animaux; ces débris se trouveront ainsi enfouis à la fois dans des couches d'eau salée et dans des couches d'eau douce sous-jacentes.

L'iguanodon qui a été découvert par le docteur Mantell a laissé plus de débris dans les couches Wealdiennes des comtés du S.-E. et de l'île de Wight qu'aucun autre des genres de sauriens qui lui sont associés. Ce reptile était herbivore et, selon Cuvier, le plus extraordinaire qui ait jamais existé; ses dents, quoiqu'elles offrent une grande analogie par leur forme générale et leurs bords crénelés (fig. 303, *a*, et 303, *b*) avec celles des Iguanes qui fréquentent aujourd'hui les bois des Tropiques dans l'Amérique et les Indes occidentales, présentent cependant des différences frappantes. Souvent elles ont été usées par la mastication, tandis que les reptiles herbivores actuels coupent et rongent les végé-

taux dont ils se nourrissent, mais ne les mâchent pas; si leurs dents ont été fréquemment amincies, elles ne sont jamais surmontées, comme celles de l'Iguanodon fossile, d'une couronne plane ayant servi à la trituration (fig. 304, *b*) et qui

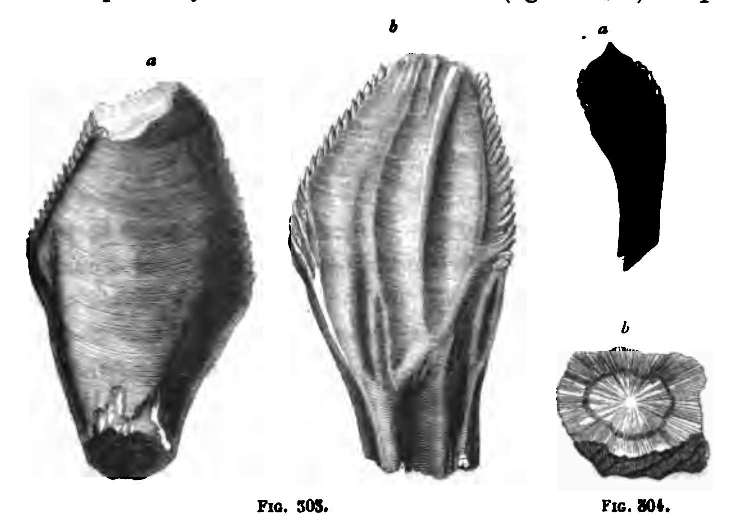


FIG. 303. FIG. 304.

Fig. 303. *a*, *b*. Dent de l'*Iguanodon Mantelli*.
Fig. 304. *a*. Dent, en partie usée, d'un jeune individu de la même espèce.
b. Couronne de la dent, à l'âge adulte, usée en travers (Mantell).

donnait à la dent une ressemblance avec les molaires des mammifères herbivores. Le docteur Mantell calcule que les dents et ossements de cette espèce qu'il a examinées ont appartenu à plus de soixante et onze individus différents d'âge et de taille, quelques-uns sortis à peine de l'œuf, et d'autres dont le fémur mesurait environ 0m,60 de circonférence. Cependant, bien que les dents se rencontrent plus abondamment que tous les autres os du squelette, il est remarquable qu'on n'ait trouvé que fort tard des débris de mâchoire. Cette découverte a été faite dans les couches de Hastings, Forêt de Tilgate; les proportions de l'animal sont un peu plus considérables qu'on ne l'avait d'abord supposé. Le docteur Mantell, qui ne s'entend pas avec le professeur Owen quant aux dimensions de la queue, estime que la longueur de ces sauriens pouvait être de 15 à 18 mètres. Le

plus grand fémur qu'on ait découvert mesure 1m,495 de long sur 0m,625 de circonférence, et 1m,050 autour des condyles.

On rencontre accidentellement des bancs de calcaire (marbre de Sussex) dans la Craie du Weald; ils sont presque entièrement composés d'une espèce de *Paludina* qui ressemble beaucoup à la *P. vivipara* commune des rivières de l'Angleterre.

Les carapaces de *Cypris* y sont nombreuses; elles impriment quelquefois à la roche une structure finement lamellaire,

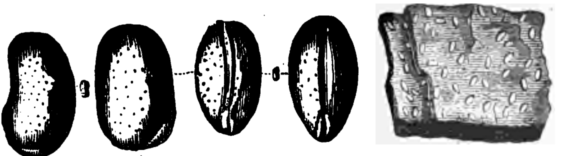


FIG. 305.— *Cypris spinigera*, Fitton. FIG. 306. — *Cypris Valdensis*, Fitton. (*C. faba*, Min. Con., 485.) FIG. 307. — Argile du Weald avec Cypris.

comme le font les paillettes de mica (fig. 307). Les mêmes marnes à Cypris existent dans les couches tertiaires lacustres d'Auvergne (voy. ci-dessus, p. 200).

Sables de Hastings.

La division inférieure du Weald consiste en sable, grès (*grit*) calcarifère, argile et schiste. Les couches argileuses s'y trouvent à peu près dans la même proportion que les couches arénacées. Le grès calcaire et grit de la Forêt de Tilgate, près de Cuckfield, où l'on a découvert pour la première fois des débris de l'Iguanodon et de l'Hylæosaure, constituent le membre supérieur de la formation; la roche blanche de sable des rochers de Hastings, qui a 30 mètres d'épaisseur, est l'un des membres inférieurs de la même formation. Les reptiles y sont très abondants; ils se rapportent en partie à des sauriens dont Mantell et Owen ont déjà fait huit genres parmi lesquels on remarque, indépendamment de ceux dont il a déjà été question, le Mégalosaure et le Plésiosaure. Les mêmes couches fournissent le Ptérodactyle, reptile volant, et divers

débris de Chéloniens des genres *Emys* et *Trionyx*, confinés de nos jours dans les régions tropicales.

La plupart des poissons du Weald se rapportent aux ordres des Ganoïdes et des Placoïdes. On y trouve en grand nombre des dents et des écailles du *Lepidotus* (fig. 308). Ces Ganoïdes étaient alliés au *Lepidosteus* ou Brochet-Gar des

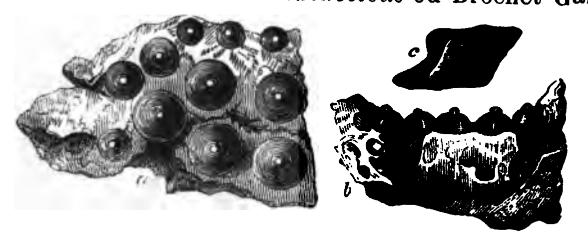


FIG. 308. — *Lepidotus Mantelli*, Agass. Weald.
a. Palais et dents. — *b*. Les dents vues de côté. — *c*. Écaille.

rivières d'Amérique. Leur corps était entièrement recouvert de larges écailles rhomboïdales très épaisses et à surface émaillée. On pense que la plupart des espèces de ce genre hantaient les rivières ou l'embouchure des baies.

Les coquilles des couches de Hastings appartiennent aux genres *Melanopsis*, *Melania*, *Paludina*, *Cyrena*, *Cyclas*,

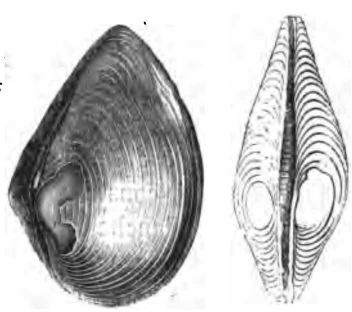


FIG. 309. — *Unio Valdensis*, Mant.
Ile de Wight et Dorsetshire ; dans les lits inférieurs des Sables de Hastings.

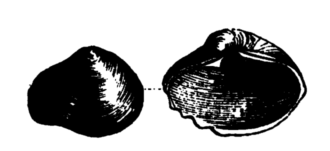


FIG. 310. — *Corbula alata*, Fitton, grossie. Dans les lits de formation d'eau saumâtre des Sables de Hastings, baie de Punfield.

Unio (fig. 309) et autres qui habitent les rivières ou les lacs ; mais on a trouvé à Punfield, comté de Dorset, un banc qui indique des eaux saumâtres où vivaient les genres *Corbula* (fig. 310), *Mytilus* et *Ostræa*. Dans quelques endroits,

le lit prend un caractère complétement marin par ses fossiles dont la plupart sont particuliers et plusieurs communs au Grès Vert Inférieur; tels sont les *Ammonites Deshayesii.* Ces faits démontrent les rapports intimes qui lient entre elles les faunes des périodes Wealdienne et Crétacée.

A différentes hauteurs des sables de Hastings, on observe çà et là de petites plaques de grès, et, entre elles, des lits d'argile de plusieurs mètres d'épaisseur. A Stammerham près d'Horsham, on remarque que l'argile a séché et s'est fendillée avant que le lit suivant se soit déposé à sa surface. Dans ces fissures, comme dans des moules, ont pu se former des reliefs qui sont encore visibles sur la surface inférieure du Grès (fig. 311).

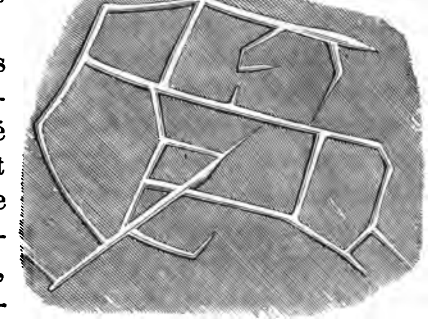


FIG. 311. — Face inférieure d'une plaque de grès, d'environ 0m,90 de diamètre. Stammerham, Sussex.

FIG. 312. — *Sphenopteris gracilis*, Fitton, des Sables de Hastings, près de Tunbridge Wells. *a* Portion grossie.

Non loin de la même localité, se trouve une pierre rougeâtre dans laquelle on reconnaît des traces innombrables d'un fossile végétal, apparemment le *Sphenopteris*, dont les tiges et les branches sont arrangées comme si les plantes conservaient encore leur position naturelle; le sable paraît les avoir entourées et couvertes en se déposant tranquillement. Des faits analogues ont été observés sur plusieurs points de la formation (1).

(1) Mantell, *Geol. of S. E., of England*, p. 244.

Dans la même division du Weald, à Cuckfield, existe un lit de gravier ou conglomérat composé de cailloux de quartz et de jaspe usés par les eaux, avec ossements roulés de reptiles. Ces produits ont dû être transportés par un courant, probablement dans une eau peu profonde.

On peut en conclure que malgré la grande épaisseur de cette division du Weald, l'ensemble du dépôt a été formé dans une eau de profondeur modérée, et, dans la plupart des cas, extrêmement saumâtre. L'idée paraîtra un peu hardie de prime abord; elle n'exprime cependant que la conséquence naturelle d'un affaissement général et continu d'une baie dans laquelle une grande rivière déchargerait des eaux troubles. Pour chaque décimètre d'affaissement, la roche fondamentale baisserait d'un décimètre au-dessous de la surface des eaux, mais la baie ne s'approfondirait pas si un nouveau dépôt de boue ou de sable s'élevait d'un décimètre sur le fond. Ces sortes de couches se dessèchent souvent à marée basse et peuvent même se couvrir temporairement de végétation.

Surface du Weald. — On ne saurait préciser l'étendue géographique du Weald, parce que des formations marines plus nouvelles en cachent une portion considérable. On lui assigne environ 320 kilomètres de l'Ouest à l'Est, de la côte du Dorsetshire jusqu'aux environs de Boulogne en France, et à peu près 320 kilomètres du Nord-Ouest au Sud-Est, depuis les comtés de Surrey et de Hampton jusqu'à Beauvais. Si la formation est continue dans toute cette étendue, ce qui est très douteux, il ne s'ensuit pas que tout dans l'ensemble soit de même âge, car la géographie physique du pays a éprouvé des modifications fréquentes pendant la durée de cette période, et l'estuaire a pu changer plusieurs fois de forme et même de place. Le docteur Dunker, de Cassel, et M. H. Von Meyer, dans une excellente monographie du Weald, du Hanovre et de la Westphalie, ont démontré que les représentants de ce terrain dans les deux pays correspondent si exactement avec la série anglaise par leurs fossiles et leurs

caractères minéralogiques, qu'on ne saurait hésiter à rapporter le tout à un même grand delta. En admettant qu'il en soit ainsi, le développement du dépôt n'excéderait pas celui de plusieurs rivières modernes, celui du Quorra ou Niger en Afrique, par exemple, qui s'étend à plus de 270 kilomètres à l'intérieur et occupe un espace de plus de 480 kilomètres le long de la côte, couvrant ainsi une surface égale à la moitié de l'Angleterre (1).

Nous ignorons jusqu'à quelle distance le sédiment fluviatile et les restes organiques des rivières et des terres peuvent être transportés de la côte et répandus sur le lit de la mer. J'ai montré, en parlant du Mississipi, qu'un delta plus ancien, renfermant des espèces de coquilles semblables à celles qui habitent aujourd'hui la Louisiane, s'était jadis rehaussé de manière à occuper une vaste étendue géographique, tandis qu'un delta plus nouveau était en voie de formation (2). Quand on recherche l'origine du Weald, il est important de tenir compte de la possibilité de tels mouvements et des effets qu'ils déterminent. Si l'on nous demande où était situé le continent dont les ruines ont formé les couches du Weald et dont les eaux alimentaient une grande rivière, nous ne sommes pas éloigné, pour répondre, de recourir à l'existence primitive de l'Atlantide de Platon. La submersion d'un ancien continent, quelque fabuleuse qu'elle paraisse au point de vue historique, constitue, géologiquement parlant, un fait qui a dû se renouveler souvent.

La difficulté véritable consiste dans l'existence prolongée d'un vaste bassin hydrographique d'où seraient partis, pour se rendre à la mer, des volumes d'eau considérables, précisément à une époque où le sol voisin du Weald s'affaissait, dans le sens perpendiculaire, de 30 mètres et même davantage. Si les terres adjacentes avaient participé à ce mouve-

(1) Fitton, *Geol. of Hastings*, p. 58; l'auteur cite les *Voyages* de Lander.

(2) Voyez ci-dessus, page 135, et *Second Visit tho the United States*, vol. II, chap. XXXIV.

ment, comment auraient-elles évité la submersion? comment encore auraient-elles pu conserver leur forme et leur hauteur, de manière à continuer d'être le point de départ d'une quantité si inépuisable d'eau douce et de sédiment? Il faut admettre que la terre limitrophe resta stationnaire ou même subit un certain exhaussement; il put se produire un mouvement ascendant dans une région et un mouvement contraire dans une autre région parallèle et contiguë, absolument comme aujourd'hui la partie nord de la Scandinavie s'élève, tandis que la partie centrale (au Sud de Stockholm) reste fixe, et que l'extrémité sud de la Scanie s'abaisse, ou, pour mieux dire, s'est abaissée pendant la période historique (1). Nous devons néanmoins conclure, si nous adoptons cette hypothèse, que la dépression des terres fut générale sur la plus grande partie de l'Europe à la fin de la période Wealdienne, et que cette dépression servit à contenir l'Océan crétacé.

FLORE DES PÉRIODES CRÉTACÉE INFÉRIEURE ET WEALDIENNE.

Les plantes terrestres de l'époque Crétacée Supérieure sont peu connues; on pouvait s'y attendre, car les roches de cette formation sont toutes d'origine marine pure et ont été formées pour la plupart à une distance éloignée des terres. Mais la végétation du Crétacé Inférieur ou Néocomien, y compris celle de l'argile Wealdienne et des sables de Hastings, est représentée par de nombreux débris. M. Ad. Brongniart, dans sa division de la série fossilifère totale, adopte les trois groupes suivants, uniquement d'après les plantes fossiles : couches primaires, *âge des Acrogènes;* couches secondaires à l'exception des crétacées, *âge des Gymnospermes*; couches crétacées et tertiaires, *âge des Angiospermes* (2). Il consi-

(1) Voyez de Lyell, l'*Anniv. Address Geol. Soc.*, 1850 (*Quart. Geol. Journ.*, vol. VI, p. 52).

(2) Dans mes remarques, ici et ailleurs, sur les plantes fossiles, je me servirai souvent de la terminologie du docteur Lindley, comme plus familière chez

dère la flore du Crétacé Inférieur comme présentant un caractère transitoire entre la végétation secondaire et la végétation tertiaire. Les Conifères et Cycadées (ou Gymnospermes) existaient encore comme aux époques antérieures de l'Oolite et du Trias ; mais, outre ces plantes, on a depuis longtemps reconnu, dans la formation, des feuilles très distinctes d'un dicotylédoné Angiosperme du genre nommé *Credneria*. On les a trouvées dans le *quader sandstein* et dans le *plänerkalk* des Allemands, roches du groupe Crétacé Supérieur. Plus récemment encore, le docteur Deby a découvert dans les couches Crétacées Inférieures d'Aix-la-Chapelle une grande variété des fossiles dicotylédonés (1), appartenant à vingt-six espèces distinctes, dont quelques-unes avaient de 10 à 15 centimètres de longueur et présentaient un bel état de conservation. Dans l'absence à l'état fossile, des organes de la fructification et des fruits, on a peut-être exagéré le nombre des espèces ; mais on peut affirmer, d'après les observations modernes, que, lorsque la Craie inférieure se formait à Aix-la-Chapelle, les Dicotylédonés angiospermes y vivaient en nombre aussi considérable que les Gymnospermes. Cette découverte a de l'importance relativement à certaines théories populaires, car jusqu'à ces derniers temps on n'avait

nous ; mais celle de M. Ad. Brongniart étant beaucoup plus usitée, j'ai jugé utile de réunir dans le tableau suivant les noms comparés des groupes les plus ordinaires en paléontologie.

	Brongniart.	Lindley.	
Cryptogames	1. Amphigènes Cryptogames, ou Cryptogames cellulaires.	Thallogènes...	Lichens, varechs, champignons.
Cryptogames	2. Acrogènes Cryptogames.........	Acrogènes....	Mousses, prêles, fougères, lycopodes, — Lépidodendron.
Phanérogames.	3. Dicotylédonés gymnospermes......	Gymnogènes..	Conifères et Cycadées.
Phanérogames.	4. Dicotylédonés angiospermes.....	Exogènes.....	Composées, légumineuses, ombellifères, crucifères, etc. Tous les grands arbres indigènes de l'Europe, excepté les Conifères.
Phanérogames.	5. Monocotylédonés...	Endogènes...	Palmiers, liliacées, aloès, graminées, etc.

(1) *Geol. Quart. Journ*, vol. VII, p. 2. — *Miscell.*, p. 111.

observé de représentant de la classe des Exogènes, qui comprend les trois quarts des plantes actuelles du globe, dans aucune des couches plus anciennes que l'Éocène. Néanmoins quelques géologues ont cherché à faire concorder la rareté des arbres de cette classe avec des conditions particulières de l'atmosphère pendant les premières périodes de l'existence du globe; ils ont imaginé que la prédominance de gaz nuisibles, et particulièrement de l'acide carbonique, au sein d'un air ainsi plus condensé, avait contrarié le développement non-seulement des animaux à sang chaud (mammifères et oiseaux), mais encore d'une flore analogue à celle qui existe aujourd'hui; tandis que les mêmes éléments auraient été favorables à l'existence des reptiles et au développement de la flore acrogène et gymnosperme. La coexistence, dans la série Crétacée Inférieure de Dicotylédonés angiospermes très abondants avec les Cycadées et les Conifères, et, en même temps, avec une riche faune erpétologique comprenant les *Iguanodon*, *Megalosaurus*, *Hylæosaurus*, *Ichthyosaurus*, *Plesiosaurus* et *Pterodactylus*, ne nous permet pas d'admettre pour les périodes secondaires un état météorologique aussi différent de celui qui prévaut de nos jours.

Parmi les additions récentes qui ont été faites à la flore fossile du Wealdien, et qui établissent un nouveau chaînon entre ce terrain et la flore tertiaire, je dois mentionner les *Gyrogonites* ou sporanges de Chara découverts dernièrement dans la série de Hastings, île de Wight.

CHAPITRE XIX.

DÉNUDATION DE LA CRAIE ET DU WEALD.

Géographie physique de certains districts composés de couches Crétacées et Wealdiennes. — Lignes de falaises crayeuses intérieures sur la Seine en Normandie. — Piliers et aiguilles de craie encore debout. — Dénudation de la craie et du Weald, dans les comtés de Surrey, de Kent et de Sussex. — Craie jadis continue des Downs du Nord aux Downs du Sud. — Axe anticlinal et crêtes parallèles. — Vallées longitudinales et transversales. — Escarpements de Craie. — Exhaussement et dénudation graduels des couches. — Crêtes formées par les lits plus durs et vallées produites par les couches plus molles. — A quelle époque doit-on rapporter la dénudation de la vallée du Weald ? — Pourquoi ne trouve-t-on ni alluvion, ni débris de craie, dans le district central du Weald ? — La dénudation a été plus considérable sur les terres qui ont présenté plus de développement. — Lit à Éléphants, de Brighton. — Rocher de Sangatte. — Conclusion.

Le géologue doit étudier les formations fossilifères sous deux points de vue différents : d'abord sous celui de leur situation dans la série, de leur caractère minéralogique et des corps organisés qu'elles renferment ; ensuite sous celui de leur géographie physique et de la place qu'elles tiennent habituellement, comme masses minérales, dans la structure intérieure de la terre, soit qu'elles occupent le fond des lacs ou des mers, ou bien qu'on les trouve à la surface ou à la base des montagnes et des vallées, des plaines ou des plateaux. Après avoir donné des détails sur les couches Tertiaires, Crétacées et Wealdiennes, nous allons examiner certains traits de la géographie physique de ces groupes, tels qu'on les observe dans quelques parties de l'Angleterre et de la France.

Les collines composées de Craie Blanche dans le S.-E. de l'Angleterre, sont arrondies à leur surface et doucement inclinées sur leurs flancs. Généralement consacrées au pâturage, elles sont dépourvues d'arbres et de haies, ce qui permet

d'observer comment les vallées qui les avoisinent se ramifient dans toutes les directions, et deviennent, à mesure qu'elles descendent, plus larges et plus profondes. Quoique la plupart de ces vallées soient aujourd'hui presque à sec, excepté pendant les fortes pluies et la fonte des neiges, elles ont dû leur origine à une dénudation par les eaux, comme nous l'avons expliqué au chapitre VI ; elles ont été creusées à l'époque où la Craie émergeait graduellement de la mer. A l'appui de cette opinion, nous invoquerons la présence de ces longues lignes de falaises intérieures où les couches sont coupées abruptement et forment des précipices souvent verticaux. La véritable nature de ces escarpements n'est nulle part plus facile à reconnaître que dans certains cantons de la Normandie, où la Seine et ses tributaires coulent à travers de profondes vallées encaissées par des couches de craie horizontales. Si l'on suit, par exemple, ce fleuve sur une longueur de 48 kilomètres, depuis les Andelys jusqu'à Elbeuf, on longe une vallée dont les versants, formés de craie avec nombreux lits de silex, sont verticalement à nu sur une hauteur d'environ 75 à 90 mètres. Au-dessus de la craie repose une masse de sable, de gravier et d'argile, de 10 à 30 mètres d'épaisseur. Les deux coupes *a* et *b* (fig. 313), qui font voir

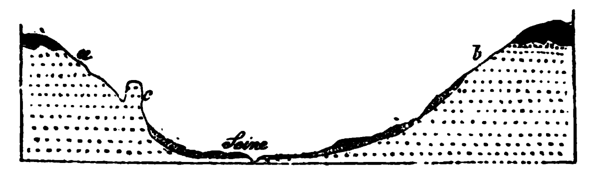


FIG. 313. — Coupe à travers la vallée de Seine.

la craie à la surface, sont séparées l'une de l'autre par un intervalle de 3 à 6 kilomètres ; elles sont souvent tout à fait nues et unies comme les plus escarpées de nos collines (*downs*) en Angleterre ; mais, sur plusieurs points, elles sont coupées par une ou plusieurs rangées d'escarpements à pic ou même en surplomb, que constitue la craie blanche avec silex. On voit, d'espace en espace, des aiguilles séparées et

des sortes de pitons qui s'élèvent dans la ligne d'escarpement ou devant cette ligne comme en *c* (fig. 313). Sur la rive droite de la Seine, aux Andelys, on remarque une rangée d'escarpements analogues sur une longueur d'environ 3 kilo-

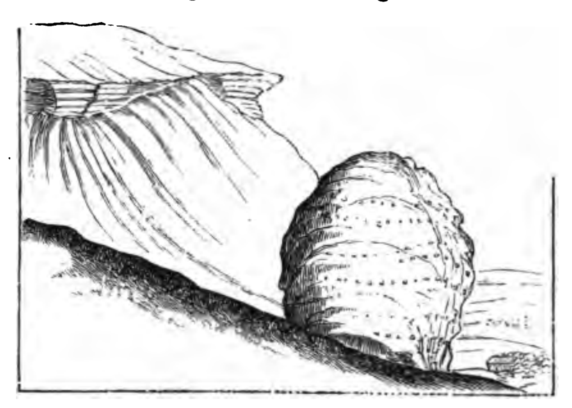


FIG. 314. — La Tête d'homme, Andelys, vue d'en haut.

mètres et sur 15 à 30 mètres de hauteur perpendiculaire ; elle est interrompue dans sa direction par plusieurs vallées dans l'une desquelles on voit une roche détachée en aiguille nommée la Tête d'homme (fig. 314, 315).

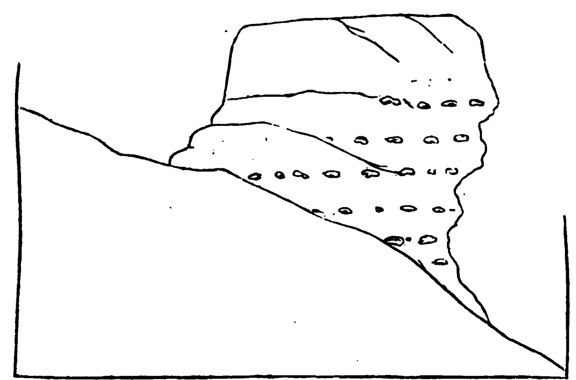


FIG. 315. — Vue d'un côté de la Tête d'homme. Craie blanche à silex.

La portion supérieure de ce bloc est abrupte vers tous les points de l'horizon. Sa hauteur verticale dépasse 6 mètres du

côté de la colline, et 12 vers la Seine; son diamètre approximatif est de 9 mètres. Sa composition est celle des rochers plus considérables qui sont en place dans le voisinage; c'est de la Craie blanche, parfois cristalline comme le marbre, avec de petits lits de silex noduleux et des masses tubulaires du même minéral. Les lits de silex font souvent saillie de 120 à 150 centimètres au delà de la Craie, laquelle, généralement, se trouve dans un état de décomposition lente et s'exfolie, ou bien se couvre de poussière blanche comme les rochers crayeux de la côte d'Angleterre; cette poussière superficielle contient également, en certains endroits, du sel commun.

D'autres escarpements sont situés sur la rive droite de la Seine, en face de Tournedos, entre les Andelys et Pont-de-l'Arche; les précipices qu'ils forment ont de 15 à 24 mètres de profondeur; plusieurs de leurs sommets se terminent en piton : l'un d'eux, surtout, est si complétement isolé, qu'il présente du côté de la colline une arête perpendiculaire de 15 mètres de haut. On distingue nettement sur ces rochers diverses saillies et dépressions qui marquent autant de niveaux où l'on suppose que les flots de la mer ont battu pendant longtemps. A une hauteur plus considérable, immédiatement au-dessus de cette rangée, sont trois escarpements beaucoup plus petits, d'environ 120 centimètres chacun, avec autant de terrasses qui les séparent et se continuent de manière à former un demi-cercle autour d'une petite vallée.

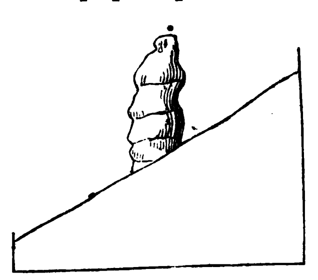


Fig. 316. — Piton de Craie, à Senneville.

Si l'on descend ensuite la rivière, de Vatteville à Senneville, on arrive en face d'une aiguille singulière, d'environ 15 mètres de hauteur, entièrement isolée sur un escarpement crayeux de la rive droite de la Seine (fig. 316).

Au-dessous, à 16 kilomètres environ sur la rive gauche du

fleuve, on rencontre une nouvelle et très remarquable série de falaises intérieures, qui commence à Elbœuf et comprend les Roches d'Orival (fig. 317). Leur surface est irrégulière; souvent elles sont en surplomb, et contiennent des lits de



FIG. 317. — Roches d'Orival, Elbœuf.

silex saillants de plusieurs mètres. Ces falaises ont, comme les précédentes, la surface poudreuse, et sont composées entièrement de craie avec silex. La rangée de falaises est distante de 64 kilomètres du rivage; sa hauteur en certains endroits

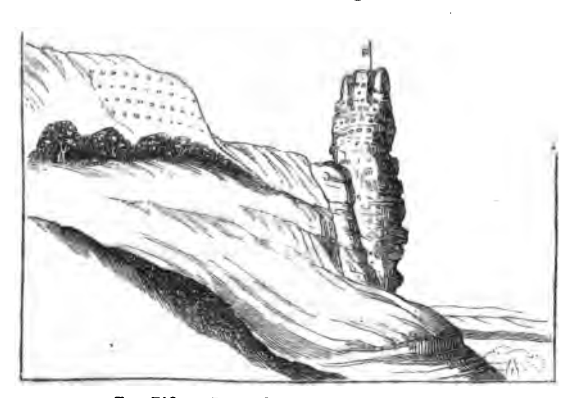
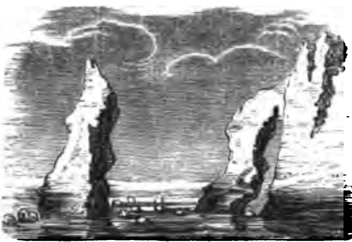


FIG. 318. — La Roche de Pignon, vue du Sud.

tains endroits excède 60 mètres, et sa base n'est qu'à quelques mètres du niveau de la Seine. Elle est interrompue sur

un point par une masse pyramidale ou aiguille de 60 mètres de haut, appelée la Roche de Pignon, et qui dépasse d'environ 7 mètres la partie supérieure de la roche principale, qu'elle va rejoindre au moyen d'une bande étroite à 12 mètres plus bas que son sommet (fig. 318).

Comme toutes les masses isolées de Senneville, Vatteville et des Andelys dont nous avons parlé plus haut, cette roche peut être comparée aux aiguilles de craie que l'on rencontre sur la côte de Normandie (1) (fig. 319) ainsi que dans l'île de Wight et dans le Purbeck. On verra par la suite de cette description et les dessins qui l'accompagnent, que l'opinion d'après laquelle certains escarpements de la craie auraient été originairement des falaises du bord de la mer est bien plus applicable à la France qu'à l'Angleterre. Si, dans l'intérieur de notre contrée, on ne rencontre ni rangées de précipices verticaux et en surplomb, ni piliers isolés, ni aiguilles, cette différence tient surtout à la dureté plus grande de la craie de Normandie. Mais souvent l'absence de tout signe de dénudation littorale dans la vallée même de la Seine est un fait négatif, d'un caractère encore plus extraordinaire et plus embarrassant.


FIG. 319. — Aiguille et Arche d'Etretat, dans les falaises de la craie en Normandie. Hauteur de l'arche, 30 mètres. (Passy) (2).

Les falaises, après s'être montrées continues sur plusieurs kilomètres de longueur, s'interrompent tout d'un coup sur de plus grandes distances et sont remplacées par une pente douce couverte de végétation, quoique leurs lits conservent la même composition et la même stratification horizontale ; cependant on peut tenir pour certain que le mode d'exhaussement du sol, intermittent ou continu, doit avoir

(1) Une description de ces rochers a été lue par l'auteur à l'Association britannique, à Glasgow, septembre 1840.

(2) *Seine-Inférieure*, p. 142, et pl. 6, fig. 1.

été le même sur les points intermédiaires où il n'existe pas de falaises que sur ceux où elles sont si nettement accusées. Pour expliquer des anomalies aussi frappantes, le lecteur doit se reporter à la théorie de la dénudation exposée dans le chapitre VI. Nous avons démontré : 1° Que la force érosive des vagues et des courants varie sensiblement sur les différents points d'un même rivage ; 2° qu'en se décomposant, les roches les plus abruptes s'écroulent souvent et tombent en ruines ; 3° que des terrasses et de petits escarpements peuvent parfois être cachés sous un talus de détritus.

Dénudation de la vallée du Weald. — Aucune région ne saurait montrer d'une manière plus frappante que la contrée située entre les Downs (collines) du Nord et ceux du Sud, comment une grande série de couches a pu être exhaussée, puis



FIG. 320. — Carte géologique du Sud de l'Angleterre et d'une partie de la France, montrant la dénudation du Weald.

1.	Tertiaire.	5.	Weald Clay.
2.	Craie et Grès Vert Supérieur.	6.	Sables de Hastings.
3.	Gault.	7.	Couches du Purbeck.
4.	Grès Vert Inférieur.	8.	Oolite.

graduellement dénudée. Cette contrée, dont la surface est figurée dans la carte (fig. 320), comprend tout le Sussex et une portion des comtés de Kent, de Surrey et de Hampshire.

L'espace sur lequel se sont déposées les formations plus

anciennes que la Craie Blanche ou celles comprises entre le Gault et les sables de Hastings inclusivement, est bordé de tous côtés par un grand escarpement de craie qui se continue de l'autre côté du canal de la Manche, jusque dans le bas Boulonnais en France, où il forme la limite semi-circulaire d'une étendue de pays dont les couches plus anciennes apparaissent superficiellement. On peut donc considérer, au point de vue géologique, ce district en son entier comme un seul et même ensemble.

L'espace limité par l'escarpement de la Craie nous fournit un exemple de ce qu'on a souvent appelé *vallée d'élévation*, et plus correctement *de dénudation*, c'est-à-dire d'une vallée dans laquelle les couches, en partie enlevées par les eaux, plongent de tous côtés à partir de l'axe central. On suppose donc que le sol maintenant occupé par le sable de Hastings (n° 6) était autrefois couvert par l'argile du Weald (n° 5), celle-ci à son tour par le Grès vert (n° 4), ce dernier par le Gault, et, en dernier lieu, que la Craie (n° 2) s'étendait primitivement sur toute la surface comprise entre les Downs du Nord et ceux du Sud. On comprendra mieux cette théorie si l'on jette un coup d'œil sur le diagramme ci-contre (fig. 321) où les lignes plus foncées représentent les portions qui subsistent aujourd'hui, et les lignes plus pâles les portions que l'on considère comme ayant été entraînées.

A chacune des extrémités du diagramme, on voit les couches tertiaires (n° 1) reposer sur la Craie. Vers le milieu, les sables de Hastings (n° 6) forment un axe anticlinal de chaque côté duquel les autres formations s'inclinent en sens opposé. Il a été nécessaire, cependant, pour donner une idée claire des différentes formations, d'exagérer la hauteur proportionnelle de chacune d'elles relativement à leur étendue horizontale; le diagramme (fig. 322) est à une échelle vraie et corrigera l'impression fausse qui aurait pu naître dans l'esprit du lecteur. Dans cette coupe, la distance entre les Downs du Nord et du Sud dépasse 64 kilomètres, car la vallée du Weald est ici coupée suivant son plus long dia-

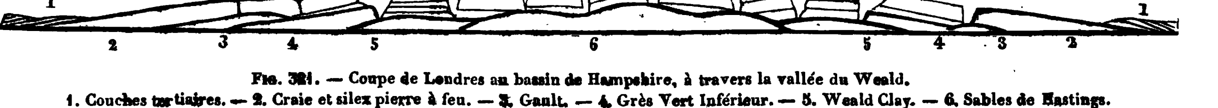


FIG. 321. — Coupe de Londres au bassin de Hampshire, à travers la vallée du Weald.
1. Couches tertiaires. — 2. Craie et silex pierre à feu. — 3. Gault. — 4. Grès Vert Inférieur. — 5. Weald Clay. — 6. Sables de Hastings.

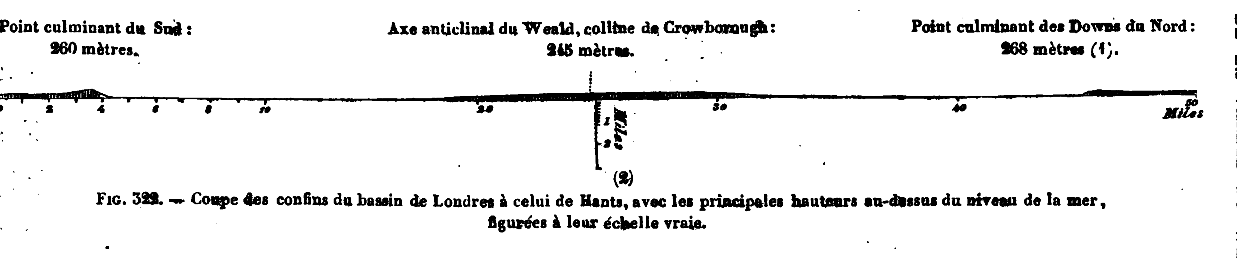


FIG. 322. — Coupe des confins du bassin de Londres à celui de Hants, avec les principales hauteurs au-dessus du niveau de la mer, figurées à leur échelle vraie.

(1) La colline de Botley, près de Godstone, dans le Surrey, s'élève, d'après des mesures trigonométriques, à 368 mètres au-dessus du niveau de la mer ; la colline de Wrotham, près de Maidstone, dont la hauteur paraît se rapprocher de celle des Downs du Nord, s'élève à 242 mètres.

(2) Le mille anglais vaut 1$^{kil.}$,609314 ; la coupe est divisée en milles. (*Note du traducteur.*)

mètre, dans la direction d'une ligne tirée entre Lewes et Maidstone.

A travers la portion centrale du district que l'on suppose avoir été dénudé, court, à peu près de l'Est à l'Ouest, une grande ligne anticlinale sur les deux côtés de laquelle les couches 5, 4, 3 et 2 affleurent successivement. Mais, bien que pour rendre plus compréhensible la structure physique de cette région, la ligne centrale d'élévation ait seule été tracée comme dans les diagrammes de Smith, Mantell, Conybeare et autres, les géologues savent tous qu'un grand nombre de lignes plus petites de dislocation et de flexion courent parallèlement au grand axe du centre.

Dans la région centrale des sables de Hastings, les couches ont subi de grands dérangements; on connaît une faille où le déplacement vertical d'une couche de grès grossier (*grit*) calcaire n'est pas moindre de 109 mètres (1). La physionomie pittoresque de ce district est due en grande partie aux vallées profondes et étroites, aux crêtes accidentées qu'ont produites les plissements à angles aigus et les fractures des couches, mais il faut l'attribuer aussi à l'action érosive exercée par les eaux, spécialement sur les couches argileuses qui s'y trouvent intercalées.

Indépendamment des vallées et crêtes longitudinales du Weald, d'autres vallées courent dans une direction transversale, passant à travers la craie, jusqu'au bassin de la Tamise d'un côté, et au détroit de la Manche de l'autre. C'est ainsi que la chaîne des Downs du Nord est coupée par les rivières Wey, Mole, Darent, Medway et Stour; les Downs du Sud le sont par les rivières Arun, Adur, Ouse et Cuckmere (2). Si ces cavités transversales venaient à être remplies, toutes les rivières, observe M. Conybeare, dévieraient à l'Est et iraient se jeter à la mer par Romney Marsh et Pevensey Levels.

(1) Fitton, *Geology of Hastings*, p. 35.
(2) Conybeare, *Outlines of Geol.*, p. 81.

M. Martin a fait remarquer que les grandes fractures transversales de la Craie, aujourd'hui devenues des conduits de rivières, présentent une correspondance remarquable sur chaque côté du Weald. Souvent, dans les Downs du Nord et du Sud, on voit les gorges des vallées directement opposées l'une à l'autre; par exemple, les défilés de la Wey, dans les Downs du Nord, et ceux de l'Arun, dans les Downs du Sud, paraissent coïncider en direction; de même, la Ouse correspond à la Darent, et la Cuckmère à la Medway (1).

Bien que ces coïncidences puissent être accidentelles, il n'est nullement improbable qu'une élévation considérable vers le centre du district Wealdien ait donné lieu aux fissures transversales; et, comme les vallées longitudinales étaient en connexion avec ce mouvement linéaire qui dirigeait les lignes anticlinales Est et Ouest, des fissures transversales ont dû être produites par l'intensité de la force d'exhaussement vers le centre de la ligne.

Fig. 323.— Vue de l'escarpement de la craie dans les Downs du Sud; prise du Dyke du diable, en regardant vers l'Ouest et le Sud-Ouest.
a. **La ville de Steyning est cachée par ce promontoire. —** *b.* **Église d'Edburton. —** *c.* **Route. —** *d.* **Rivière Adur.**

(1) *Geol. of Western Sussex*, p. 61.

Mais avant d'expliquer comment s'est produit le mouvement d'exhaussement, je dois faire connaître les principaux traits géographiques du district, autant qu'ils ont un intérêt géologique.

Quelque direction que l'on prenne en allant des couches tertiaires des bassins de Londres et du Hampshire vers la vallée du Weald, on gravit d'abord une pente de Craie Blanche avec silex, puis on arrive à un point culminant composé en grande partie de différents membres de la formation Crétacée. Au-dessous de cette formation affleure le Grès vert Supérieur, et quelquefois aussi le Gault. Cette pente, en somme, représente le grand escarpement de Craie que nous avons mentionné ci-dessus, et qui domine une vallée creusée principalement dans les couches argileuses ou marneuses appelées Gault (n° 3). L'escarpement est continu le long de l'extrémité méridionale des Downs du Nord ; on peut le suivre depuis la mer, à Folkstone, jusqu'à l'ouest de Guildford et aux environs de Petersfield, et de là jusqu'à l'extrémité des Downs du Sud, à Beachy Head. Les couches sont coupées sous forme abrupte ; évidemment elles ont dû s'étendre primitivement beaucoup plus loin. Dans la figure 323, j'ai représenté fidèlement un point de l'escarpement des Downs du Sud où la dénudation, à la base de la pente, est plus prononcée que d'habitude, par la raison que les Grès verts Supérieur et Inférieur sont formés de matériaux très incohérents ; le premier de ces deux membres se trouve là extrêmement mince et manque presque tout à fait.

Le géologue reconnaîtra dans cette esquisse la forme exacte

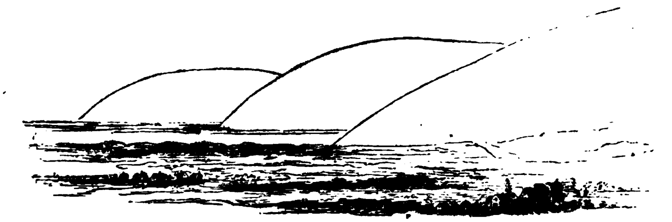


FIG. 324. — Escarpement de craie, vu d'une hauteur aux environs de Steyning, Sussex
Au premier plan, le château et le village de Bramber.

des falaises marines ; et s'il regarde dans une direction opposée, c'est-à-dire à l'Est, vers Beachy Head (fig. 324), il verra se prolonger la même ligne de hauteurs. Les personnes les moins expérimentées n'auront pas de peine à saisir la ressemblance de cette plaine large et unie avec les sables nivelés que laisse la marée en se retirant, et, dans les masses de craie en projection, les langues de terre, ou caps, qui séparaient les unes des autres les différentes baies d'une même côte.



FIG. 325. — Vallée transversale de l'Adur, dans les Downs du Sud. — *a*. Ville de Steyning. — *b*. Rivière Adur. — *c*. Old Shoreham.

Dans les Downs du Nord, des puits de sable (*sand-pipes*) sont parfois coupés par l'escarpement ; suivant quelques géologues, ils seraient plus modernes que celui-ci, et dans ce cas ils pourraient fournir un argument contre la théorie qui voit dans les escarpements de ces localités d'anciennes falaises des bords de la mer ou des rivières. Mais, lorsqu'on songe à la grande profondeur de plusieurs de ces puits, de ceux des environs de Sevenoaks par exemple, on conçoit que leur extrémité inférieure puisse quelquefois se montrer à découvert loin du sommet d'un escarpement partout où des portions de craie auront été coupées.

Quant aux vallées transversales qui séparent les collines de craie, on pourra en prendre une idée d'après l'esquisse ci-contre (fig. 325) de la gorge de la rivière Adur, prise du sommet des collines de craie, sur le chemin qui conduit des villes de Bramber

et de Steyning à Shoreham. Si le lecteur veut bien se reporter à la figure 323, il trouvera le point exact où la gorge dont il est question interrompt l'escarpement de craie. Une colline qui se prolonge jusqu'au point *a* cache la ville de Steyning; près de cette ville commence la vallée par laquelle l'Adur va directement à la mer, à Old Shoreham. La rivière coule à travers une plaine presque unie, comme la plupart des autres rivières qui coupent les collines de Surrey, de Kent et de Sussex, et il est évident que ces ouvertures n'ont point été pratiquées par des cours d'eau, à moins que l'on ne suppose des conditions de géographie physique tout à fait différentes de celles qui prévalent aujourd'hui. En réalité, plusieurs des rivières actuelles, par exemple l'Ouse près de Lewes, ont comblé des bras de mer au lieu de creuser les lits qu'elles parcourent.

Il est plus probable que presque toutes, sinon toutes les gorges qui se dirigent Nord et Sud, ont été produites par des fractures et des déplacements de roches ; le ravin dirigé Est et Ouest qui part du côté oriental de la vallée de l'Ouse



FIG. 326. — La Coomb, près de Lewes.

est certainement dû à une dislocation. Ce ravin s'appelle *La Coomb* (fig. 326) ; il est situé près de la ville de Lewes.

Il fut pour la première fois signalé par le docteur Mantell, en société de qui je l'ai examiné. Les pentes rapides qui l'encaissent sont tapissées d'un vert gazon, de même que le fond qui est parfaitement à sec. On ne distingue aucun signe extérieur de dislocation, et les rapports de la dépression avec les mouvements souterrains n'eussent pas même été soupçonnés par le géologue, si l'escarpement de la vallée de l'Ouse et les nombreux puits de craie qui sont exploités vers l'extrémité de la Coomb ne nous eussent fourni les preuves évidentes de grandes convulsions. A l'aide de ces jalons, on découvre que le ravin coïncide précisément avec une ligne de faille sur l'un des côtés de laquelle la craie à silex *a*

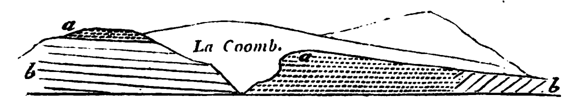


FIG. 327. — Faille coïncidant avec la Coomb, à Cliff Hill, près de Lewes, Mantell.
a. Craie avec silex. — *b*. Craie Inférieure.

(fig. 327) apparaît au sommet de la colline, tandis que sur l'autre côté elle se montre au bas.

Pour se rendre compte de la manière dont les cinq groupes de couches 2, 3, 4, 5, 6, représentés dans la carte (fig. 320) et dans la coupe (fig. 321), ont pu être amenés à leur position actuelle, on peut imaginer l'hypothèse suivante : Supposons les cinq formations disposées en couches horizontales au fond de la mer ; qu'un mouvement s'exerçant du dessous soulève les couches en forme de dôme surbaissé ; que plus tard le sommet convexe de ce dôme se partage de telle sorte que la solution de continuité pénètre jusqu'au groupe inférieur, et les différentes couches présenteront à la surface la disposition que l'on voit dans la carte (fig. 320) (1).

La quantité de dénudation, c'est-à-dire la masse que l'on suppose avoir été jadis entraînée par les eaux, des Downs du Sud aux Downs du Nord, est tellement considérable, que l'es-

(1) Voyez les illustrations de cette théorie par le docteur Fitton, *Geol. Sketch of Hastings*.

prit est frappé au premier abord de la hardiesse de l'hypothèse. Mais la difficulté disparaît lorsqu'on accorde un temps suffisant à l'exhaussement et à l'abaissement graduels des couches durant plusieurs périodes géologiques successives; les flots et les courants de l'Océan, ainsi que l'action des rivières, de la pluie et des inondations, ont pu produire lentement des résultats qu'aucun cataclysme subit des eaux n'aurait été capable d'accomplir.

Comme autres preuves de l'action de l'eau, rappelons que les grandes vallées longitudinales suivent l'affleurement de couches plus meubles et plus incohérentes, tandis que les crêtes ou lignes d'élévations correspondent aux points où les couches sont composées de pierre plus dure. C'est ainsi que la craie avec silex, et en même temps le Grès Vert Supérieur qu'elle recouvre, ont été coupés du côté de la mer par un escarpement qui borde une vallée profonde creusée en grande partie dans un lit argileux mou appelé Gault (n° 3, carte, page 421). En quelques endroits, comme près de Beachy Head, le Grès Vert Supérieur est réduit à un état meuble et incohérent qui atteste une dénudation égale à celle du Gault; mais, plus loin vers l'ouest, il présente une grande épaisseur, et contient des couches dures de chert bleu et de grès calcaire ou pierre à feu (*firestone*). Cette dernière disposition influe directement sur la physionomie de la contrée, car le grès s'avance en gradin au delà du pied des collines de craie et constitue une terrasse inférieure dont la

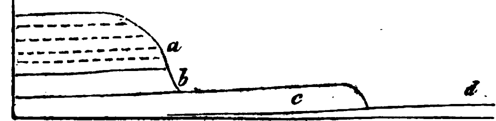


FIG. 328. — *a*. Craie avec silex. — *b*. Craie sans silex. — *c*. Grès Vert Supérieur, ou silex pierre à feu. — *d*. Gault.

largeur varie de 400 à 4000 mètres, et qui suit les sinuosités de l'escarpement crayeux (1).

(1) Sir R. Murchison, *Geol. Sketch of Sussex*, etc., *Trans.*, 2ᵉ série, vol. II, p. 98.

Rien ne saurait prouver d'une manière plus satisfaisante que l'escarpement est le résultat d'une érosion produite durant l'exhaussement des couches ou pendant leur abaissement à des périodes successives; j'ai montré, dans ma description de la côte de Sicile (page 122), comment les empiétements de la mer tendent à effacer les successions de terrasses auxquelles donne toujours naissance l'exhaussement intermittent d'une côte minée par les vagues. Pendant l'intervalle qui s'écoule entre deux mouvements élévatoires, la terrasse inférieure est habituellement détruite partout où elle est composée de matériaux incohérents, tandis que la mer n'a pas le temps d'entraîner en entier telle autre partie de la même terrasse dont la texture est plus résistante.

L'argile ductile appelée Gault est facile à entraîner; aussi partout où affleure cette formation, rencontrons-nous une vallée qui longe la base des collines de craie, et qui, du côté opposé, se trouve bordée ordinairement par le Grès Vert Inférieur; comme les couches supérieures de cette dernière formation sont meubles et incohérentes, elles ont en général disparu, ce qui augmente la largeur de la vallée. Mais, dans les districts où abondent comme éléments constituants, le chert, le calcaire et autres matières solides (nº 4, carte, page 421), on voit, par exemple à Leith Hill près Dorking, courir parallèlement à la Craie une rangée de collines quelquefois égales ou même supérieures en hauteur à l'escarpement de la Craie. Cette rangée présente souvent un côté abrupt vers le dépôt d'argile molle appelée Weald Clay (nº 5 : voyez la teinte foncée dans la figure 321, page 423); il en résulte ordinairement une large vallée qui sépare le Grès Vert Inférieur des sables de Hastings ou Forest Ridge. Mais, sur les points où se présentent des couches subordonnées de grès d'une texture plus solide, l'uniformité de la plaine nº 5 fait place à des ondulations irrégulières et à des monticules.

Action pluviale. — En traitant de la destructibilité comparative des roches plus dures ou plus tendres, nous ne devons point passer sous silence l'action de la pluie. Les col-

lines de craie sont habituellement couvertes jusque sur leur sommet de silex non arrondis, tels qu'il en doit rester après que des masses de craie blanche ont été ramollies, puis entraînées par les eaux. Cette accumulation superficielle des matériaux durs ou siliceux de couches désagrégées peut provenir en grande partie de l'action pluviale, car pendant les pluies torrentielles on voit des cours d'eau chargés de matières calcaires, de couleur blanc de lait, descendre de collines de craie même très peu inclinées. Si cette cause suffit pour faire disparaître en un siècle de petites couches de quelques millimètres d'épaisseur, des masses considérables seront entraînées pendant des âges indéfinis, et ne laisseront comme témoignage de leur première existence qu'un lit de nodules siliceux. Une couche d'argile fine recouvre quelquefois la surface de dépressions légères dans la Craie Blanche; cette couche représente le résidu alumineux de la roche après la dissolution du carbonate de chaux par l'eau de pluie chargée d'un excès d'acide carbonique provenant d'une décomposition de matières végétales. Des eaux acidulées descendent quelquefois le long des tuyaux de sable (*sand-pipes*) et des entonnoirs de la craie; elles minent la surface et forment ou agrandissent des cavités souterraines (1).

Lignes de fracture. — Dans un ouvrage publié en 1828, sur la géologie du Sussex occidental, et qui jette beaucoup de lumière sur la structure du Weald, M. Martin trace, pour des longueurs de plusieurs kilomètres, la direction non interrompue d'un certain nombre de lignes anticlinales et fractures transversales. M. Hopkins s'est livré, mais avec plus de détails, au même genre d'investigation. Ce géologue a montré que la direction des lignes de flexion et de dislocation observées dans le district du Weald coïncide avec celle qu'indiquent théoriquement les principes de la mécanique, en admettant certaines conditions simples qui auraient déterminé

(1) Voyez ci-dessus, p. 132, *Tuyaux de sable dans la craie*, et Prestwich, *Geol. Quart. Journ.*, vol. X, p. 222.

l'exhaussement des couches en vertu d'une force d'expansion souterraine (1).

Cette opinion, suivant laquelle les lignes longitudinales et transversales de fracture auraient pu se produire simultanément, s'accorde bien avec celle exprimée par M. Thurmann dans son ouvrage sur les crêtes anticlinales et les vallées d'élévation du Jura Bernois (2).

D'après ce géologue, la largeur des crêtes anticlinales et des masses en forme de dôme dans le Jura, serait constamment en rapport avec le nombre des formations exposées au jour, ou, en d'autres termes, avec la profondeur sur laquelle ont été mis à découvert les groupes superposés de couches secondaires (fig. 71). M. Thurmann remarque aussi que les lignes anticlinales sont parfois obliques et se croisent l'une l'autre, et que c'est alors que l'on observe la plus grande dislocation. Il suppose que quelques-unes des fractures transversales ont suivi les fractures longitudinales.

J'ai admis dans la première partie de ce chapitre que l'exhaussement du Weald avait été graduel, tandis que plusieurs géologues le considèrent comme le résultat d'un unique mais violent effort souterrain. Pour ces géologues, l'unité d'effet que l'on remarque dans le mouvement de cette formation et dans celui d'autres lignes de couches disloquées du Sud-Est de l'Angleterre serait inconciliable avec la supposition d'un grand nombre d'efforts renouvelés à de longs intervalles de temps. Mais nous savons que les tremblements de terre, comme les éruptions volcaniques, se répètent sur les mêmes points pendant une longue série d'âges. Les laves les plus anciennes de l'Etna sont sorties bien des milliers d'années avant les plus modernes, et cependant ces laves, ainsi que les mouvements qui ont accompagné leur émission, ont produit une montagne symétrique; et si les courants de matières fondues continuent ainsi à couler dans la même

(1) *Geol. Soc. Proceed.*, n° 74, p. 363, 1841; et *Geol. Soc. Trans.*, 2ᵉ série, vol. VII.

(2) *Soulèvements jurassiques*, 1832.

direction et vers le même point pendant un laps de temps indéfini, quelle difficulté y a-t-il à concevoir que la force volcanique souterraine, cause de l'exhaussement ou de l'abaissement de certaines parties de la croûte terrestre, ait pu, par des mouvements réitérés, produire la plus parfaite unité dans les résultats?

A quelles époques la vallée du Weald a-t-elle été dénudée? En s'appuyant sur les recherches les plus récentes, on peut admettre que la dénudation de la Vallée du Weald a nécessité une période de temps si longue, qu'elle a suffi à l'accomplissement des plus grandes révolutions dans la géographie physique du globe. Il est aujourd'hui incontestable qu'une partie de cette dénudation est antérieure à la formation des couches Éocènes d'Angleterre, et par conséquent à celle des roches nummulitiques d'Europe et d'Asie; elle s'est donc effectuée à une époque où n'existaient encore ni les Alpes, ni les Pyrénées, ni plusieurs autres chaînes d'Europe et d'Asie; la majeure partie des matériaux qui constituent ces montagnes ne s'étaient même point encore accumulés au fond de la mer.

M. Élie de Beaumont admet l'existence d'une île dans la mer Éocène, sur l'espace occupé aujourd'hui par les couches Wealdiennes de France et d'Angleterre, et il a dressé une carte qui rétablit hypothétiquement la géographie de cette région à l'époque dont il est question (1). Depuis, M. Prestwich a démontré que les matériaux dont se composent les couches tertiaires d'Angleterre, et leur manière de reposer sur la Craie, impliquent la nécessité qu'une île, ou plusieurs îles ou bas-fonds, composés de Grès vert Supérieur, de Gault, et probablement de quelques-unes des roches Crétacées inférieures, aient existé quelque part entre les Downs actuels du Nord et du Sud. Les rochers et les plages de ces terres, minés par les eaux, ont fourni les silex que l'action

(1) *Mémoires de la Société Géologique de France*, vol. I, part. 1, p. 111, pl. 7, fig. 5.

des vagues a depuis arrondis en galets semblables à ceux qui forment aujourd'hui les lits à cailloux de Woolwich et de Blackheath, au-dessous de l'Argile de Londres. On suppose que ce continent fut arrosé par des rivières qui coulaient à la mer Éocène, et donnèrent naissance aux dépôts d'eau douce et d'eau saumâtre de Woolwich et à d'autres couches contemporaines (1). La grosseur de quelques-uns des silex roulés de la couche à cailloux de Blackheath indique la proximité d'une terre. Des corps aussi pesants n'auraient pu être transportés à de longues distances, que leur forme fût due à l'action des vagues battant le rivage d'une mer, ou bien à celle de rivières descendant d'une pente rapide.

Dans le diagramme ci-joint (fig. 329), M. Prestwich a représenté une coupe allant du voisinage de Saffron Walden

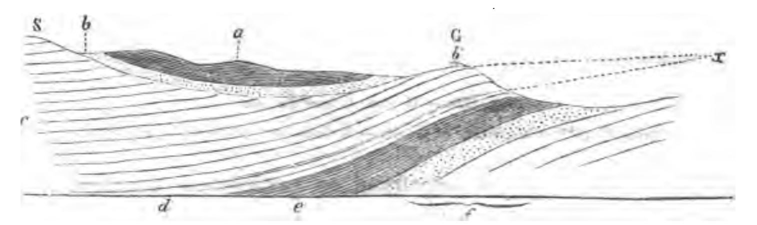


FIG. 329. — Coupe montrant que le Weald a été dépouillé de la craie avant le dépôt des couches de l'Éocène Inférieur.

S. Point où est situé Saffron Walden. — G. Escarpement de craie, au-dessus de Godstone, surmonté d'un lambeau de couches Tertiaires Inférieures *b'*. — *a*. Argile de Londres. — *b*, *b'*. Tertiaire Inférieur. — *c*. Craie. — *d*. Grès Vert Supérieur. — *e*. Gault. — *f*. Grès Vert Inférieur et Weald. — *x* Point auquel les surfaces inférieure et supérieure de la craie convergeraient si on les prolongeait.

en Essex, au Weald, et passant N. et S. à travers Godstone; on y voit comment le dérangement et la dénudation de la Craie *c* ont précédé le dépôt des couches Éocènes inférieures *b*. Quelques petits lambeaux des dernières couches mentionnées *b'*, consistant en argile et sable, se prolongent quelquefois, comme dans l'exemple actuel, jusqu'à la crête même de l'escarpement des Downs du Nord. Cette circonstance fait voir que la surface de la Craie Blanche, aujourd'hui couverte par

(1) Voyez ci-dessus, p. 347.

les couches tertiaires, est identique avec celle qui constitua dans le principe le fond de la mer Éocène.

Donc, si l'on prolonge vers le Sud les surfaces supérieure et inférieure de la Craie, le long de la ligne pointillée dans la coupe ci-dessus, elles convergeront au point x; au delà de ce point, par conséquent, il y avait absence de Craie Blanche à l'époque où se formèrent les couches Éocènes *b b'*. En d'autres termes, les parties centrales du Weald, au sud de x, étaient déjà dégagées de leur manteau primitif de craie, ou ne présentaient plus que quelques lambeaux de cette roche répandus à la surface.

On peut se représenter par la figure 330 l'île ou les îles de la mer Éocène; mais, sans aucun doute, la dénudation s'éten-

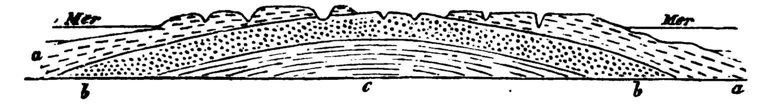


FIG. 330. — Ile dans la Mer Éocène.

a. Craie, Grès Vert Supérieur et Gault. — *b*. Grès Vert Inférieur. — *c*. Weald.

dit beaucoup plus en largeur et en profondeur avant la fin de la période Éocène, et les vagues durent empiéter sur le Grès Vert Inférieur, et peut-être, en quelques points, sur les couches du Weald.

Suivant cette manière de voir, la masse des roches crétacées et sous-crétacées qui fut amenée par les vagues et les courants à la surface du pays situé entre les Downs du Nord et ceux du Sud, avant l'origine des couches de l'Éocène le plus ancien, dut être aussi volumineuse que celle qui a été emportée par la dénudation depuis le commencement de l'Ère Éocène.

Mais le lecteur demandera peut-être quelle est la nécessité d'admettre qu'une aussi grande masse de Craie Blanche se soit étendue d'abord, sans interruption, sur les couches Wealdiennes dans cette partie de l'Angleterre, et qu'elle ait été ensuite enlevée? Ne peut-on pas supposer que la terre ferme a commencé d'exister entre les Downs du Nord et du Sud à une époque beaucoup plus ancienne, et que les couches

du Weald supérieur, en s'élevant du milieu de l'océan crétacé, ont interrompu l'accumulation de la Craie Blanche, limitée dès lors aux eaux plus profondes du voisinage? Cette hypothèse a été souvent avancée, et souvent aussi elle a été rejetée; car si des bas-fonds ou des continents se fussent trouvés aussi rapprochés, la Craie Blanche eût été bien certainement souillée et mélangée de limon et de sable, et les débris organiques d'origine terrestre, fluviale ou littorale, n'auraient pas manqué d'une manière aussi complète dans les couches des Downs du Nord et du Sud, où la Craie se termine brusquement sous forme d'escarpement. Les fossiles que l'on y trouve aujourd'hui appartiennent exclusivement à des classes qui habitent les mers profondes. D'un autre côté, si les couches wealdiennes avaient éprouvé un exhaussement avant le dépôt de la série crétacée qui les surmonte, les couches supérieures du groupe wealdien, comme M. Prestwich l'a remarqué, ne montreraient pas aujourd'hui une stratification aussi nettement concordante avec les couches inférieures du Grès vert Inférieur.

Mais, bien que l'on puisse présumer que la Craie Blanche a été autrefois continue sur l'espace occupé aujourd'hui par le Weald, il ne s'ensuit pas que la première dénudation ait été subséquente à la période Crétacée entière. Cette dénudation commença probablement avant la formation d'une portion considérable des couches de Maestricht, ou pendant que ces couches étaient en train de se former. J'ai déjà établi (page 374), qu'en Belgique, on rencontre abondamment des silex de la Craie convertis en galets roulés dans les couches inférieures de Maestricht, sur certains points où ces couches surmontent la Craie Blanche; ces galets montrent à quelle date ancienne la craie, s'élevant du sein d'une mer profonde, s'est trouvée exposée à l'action corrosive des eaux.

En prenant pour terme de comparaison les changements survenus dans la vie organique, on peut estimer que l'intervalle qui s'est écoulé entre les couches de Maestricht et les sables de Thanet a presque égalé en durée celui qui a séparé le dépôt

de ces sables de la période glaciaire. Si l'appréciation est juste, ce serait folie de vouloir restaurer par la pensée les innombrables phases par lesquelles a dû passer la géographie physique du S.-E. de l'Angleterre depuis le commencement de la dénudation du Weald. En moins de la moitié du même laps de temps, l'aspect de la surface totale de l'Europe subit des changements plus considérables qu'aucun de ceux qu'elle avait éprouvés aux époques antérieures. Il sera peut-être utile, toutefois, d'énumérer quelques-unes des fluctuations constatées dans la conformation physique du Weald et des régions adjacentes pendant la période dont il s'agit.

Reportons-nous vers ces mouvements qui déterminèrent jadis l'émersion de la Craie Blanche et l'amenèrent à une situation où les vagues purent en enlever certaines portions, comme nous l'avons représenté dans le diagramme (fig. 329), et cela avant la formation des couches de l'Éocène Inférieur d'Angleterre. Tenons compte ensuite du transport graduel de la Craie et de ses silex, transport qu'attestent les sables de Thanet aussi bien que les couches caillouteuses subséquentes de Woolwich et Blackheath. Puis rappelons-nous qu'à une dernière époque survint un grand affaissement par suite duquel baissèrent les couches d'eau saumâtre et d'eau douce de Woolwich et d'autres dépôts Éocènes Inférieurs (voyez ci-dessus, page 348) ; en sorte que l'Argile de Londres et la série de Bagshot, qui sont des formations de mer profonde, purent s'accumuler au-dessus. La quantité de l'abaissement, suivant M. Pretswich, dépassa 250 mètres dans le bassin de Londres, et 600 mètres dans celui de Hampshire ou de l'île de Wight ; s'il en fut ainsi, la surface du Weald dut participer au même mouvement, et quelques portions au moins de l'île dont il a été question (fig. 330) furent submergées. Après leur dépôt dans le bassin de Londres, l'Argile de Londres et les sables de Bagshot qui la surmontent paraissent avoir subi un exhaussement pendant la période Éocène, et leur conversion en continent, dans le Nord, aurait précédé l'élévation des couches d'âge correspondant dans le Sud ou bassin de Hamp-

shire ; car on ne trouve sur aucun point de la contrée de Londres les couches Éocènes fluvio-marines de Hordwell et de l'île de Wight.

Les fossiles des couches alternantes, marines, d'eau saumâtre et d'eau douce du Hampshire, formations appartenant à l'Éocène Moyen et Supérieur, attestent la présence de rivières qui auraient lavé des terres adjacentes, et en même temps, l'existence de nombreux quadrupèdes qui auraient vécu sur ces terres. Au lieu de cela, on se serait attendu naturellement à rencontrer les traces d'une mer ouverte, comme conséquence du vaste abaissement des couches de l'Éocène Moyen, si aucun exhaussement local ne fût survenu simultanément dans l'île de Wight ou dans les contrées immédiatement adjacentes. Quelle que soit l'hypothèse que l'on adopte, on peut admettre, pour le S.-E. de l'Angleterre, durant les périodes de l'Éocène Moyen et Supérieur, des exhaussements et des abaissements des terres, et des changements de niveau dans le lit de la mer qui furent loin d'être uniformes sur la surface totale. L'étendue et l'épaisseur des mêmes couches qui manquent dans le Weald tendraient à prouver que cette surface a changé plusieurs fois de niveau par des oscillations réitérées, et que, plus fréquemment qu'aucune des surfaces adjacentes, elle a été transformée de mer en continent ; car les submersions et émersions itératives des terres augmentent, indépendamment de toute autre cause, le pouvoir de dévastation et de transport des eaux, qu'il s'agisse de la mer, des rivières ou des inondations.

Jusqu'à présent on n'a encore découvert de formation Miocène marine (ou *falunienne*) dans aucune partie des îles Britanniques, et pas une de celles qui datent du Vieux Pliocène ne se rencontre au Sud de la Tamise ; mais les couches de l'Éocène Supérieur de l'île de Wight (couches de Hempstead) ont été élevées au-dessus du niveau de la mer dans laquelle elles avaient été originairement formées, et quelques-unes d'entre elles, comme à Alum Bay et Whitecliff Bay, ont même été redressées en position verticale, ce qui atteste de

grands mouvements survenus depuis l'origine des couches tertiaires les plus modernes du district. De tels mouvements ont pu s'accomplir, en grande partie du moins, pendant la période Miocène, à une époque où l'on suppose qu'une large portion de l'Europe formait déjà un continent. De là, pour nous, la probabilité de révolutions dans la géographie physique du Weald, à des époques intermédiaires entre le dépôt des couches de Hempstead et le commencement du Crag de Suffolk.

Nous avons encore à tenir compte d'un autre intervalle de temps non moins long : celui qui a séparé le commencement de la période du Vieux Pliocène du commencement de la période Pleistocène; ce temps, si l'on prend pour sa mesure les fluctuations de la faune marine, peut avoir suffi pour exhausser ou abaisser des continents entiers, l'action eût-elle été aussi lente que celle qu'on observe de nos jours en Suède et dans le Groënland.

Enfin, le lecteur se rappellera ce que nous avons dit dans les chapitres XI et XII sur les transports glaciaires et les matériaux charriés au loin. Quelle vaste portion de l'étendue des îles Britanniques paraît avoir séjourné au-dessous de la mer, à tel ou à tel moment de cette époque! La plupart des surfaces submergées furent par la suite converties en continents atteignant, sur quelques points, plus de 300 mètres de hauteur. Une opinion très généralement répandue veut que l'axe central du Weald ait été une terre ferme lorsque commença le transport si caractéristique du Nord; en effet, on n'a découvert aucune trace d'erratiques du Nord plus loin, vers le Sud, que Highgate près de Londres. Si cette hypothèse est fondée, le Weald était probablement un continent à l'époque où subsistait encore la forêt aujourd'hui enfouie de Cromer dans le Norfolk, et à laquelle l'Éléphant, le Rhinocéros, l'Hippopotame, le Castor éteint et d'autres mammifères peuplaient le pays. On peut aussi présumer que le Weald, lorsque la forêt s'enfonça, aura continué de recevoir de l'argile de transport, du gravier, des débris de craie et d'autres dépôts qui s'accumulèrent sur plusieurs centaines

de mètres d'épaisseur. Mais il ne s'ensuit nullement que l'étendue du Weald soit restée stationnaire pendant cet intervalle. Sa surface a pu être modifiée et remodifiée durant la période glaciaire, sans toutefois avoir été jamais submergée par la mer.

M. Trimmer a représenté dans une série de quatre cartes ses idées sur les changements successifs que la géographie physique de l'Angleterre et d'autres parties de l'Europe a subis à dater du commencement de l'époque glaciaire (1). Dans l'avant-dernière de ces cartes, il place le Weald sous les eaux à une époque de beaucoup postérieure à la forêt de Cromer. Dans la quatrième il représente le Weald comme converti en terre ferme à une époque où l'Angleterre tenait au continent, et où la Tamise était une rivière plus considérable et d'une plus grande étendue à l'Est qu'elle ne l'est aujourd'hui; ce dernier fait résulte de ses propres observations et de celles de M. Austen sur l'alluvium ancien de la Tamise et ses fossiles d'eau douce en des points très rapprochés de la mer. Ces conclusions ont été fournies par des données qu'il serait trop long de discuter ici. J'en parle seulement pour montrer que, tandis que les recherches de M. Prestwich établissent la grande ancienneté de la période où commencèrent les opérations de dénudation, celles d'autres géologues prouvent que d'importants changements superficiels ont eu lieu à des époques très modernes.

Dans le Danemark, spécialement dans l'île de Moën, M. Puggaard a démontré que des couches de craie avec silex, presque aussi épaisses que la Craie Blanche de l'île de Wight et de Purbeck, ont subi des dérangements et des dislocations depuis la formation du drift du Nord (2). Les couches de craie à silex qui sont exposées dans les coupures des falaises sont souvent verticales et courbes; les sables et les argiles du drift qui les surmontent suivent les

(1) *Geol. Quart. Journ.*, vol. IX, pl. 13.

(2) Puggaard, *Moëns Geologie*, in-8°. Copenhague, 1851.

courbures et les plis des couches plus anciennes et ont évidemment subi le même dérangement. Si donc, pour expliquer la position de certaines couches de gravier, de limon ou de drift dans le S.-E. de l'Angleterre, il est nécessaire de supposer d'importantes dislocations de la craie et des changements locaux de niveaux depuis la période glaciaire, de telles hypothèses sont en harmonie avec les conclusions qui dérivent de données d'un autre ordre, ou que l'on peut déduire de l'exploration des contrées étrangères.

Le docteur Mantell a observé depuis longtemps qu'on ne trouve aucun vestige de la craie et de ses silex sur la crête centrale du Weald ou sur les sables de Hastings, mais seulement du gravier et du limon originaires des roches immédiatement placées au-dessous. Cette distribution de l'alluvium, et spécialement l'absence de détritus de la craie dans le district central, concorde bien avec la théorie d'une dénudation antérieure; car, pour revenir à la figure 321, si la craie (nº 2) fut jadis continue et couverte partout de gravier siliceux, cette enveloppe superficielle aura disparu de la partie supérieure du dôme longtemps avant qu'aucune portion du Gault (nº 3) ait été dénudée; et si quelques débris de craie sont restés d'abord sur le Gault, ils auront été infailliblement entraînés à leur tour avant qu'aucun point du Grès vert Inférieur (nº 4) ait subi de dénudation. Ainsi, suivant le nombre et l'épaisseur des groupes enlevés successivement, il devient de moins en moins probable de trouver quelques restes du groupe supérieur répandus sur la surface dénudée de celui qui était situé tout à fait inférieurement.

Mais, dira-t-on, s'il est vrai que la mer ait été, à une ou plusieurs époques, l'agent de dénudation, on devrait rencontrer au pied des escarpements d'anciennes plages marines et d'autres signes de l'érosion produite par les flots de l'Océan. En général, les débris de la Craie Blanche et les silex ne se portent qu'à une courte distance des escarpements des Downs du Nord et du Sud. Il y a toutefois quelques exceptions, et le docteur Mantell m'en a indiqué une à Barcombe, où l'on voit

les silex à 5 kilomètres de la craie la plus rapprochée (fig. 331). Eh bien, même en cet endroit, on observe que le gravier ne s'étend pas au delà de l'Argile du Weald. Les dépressions provenant, comme celle qui existe entre Barcombe et Offham, de la facilité avec laquelle le Gault argileux a été entraîné par les eaux, sont ordinairement dépourvues de détritus

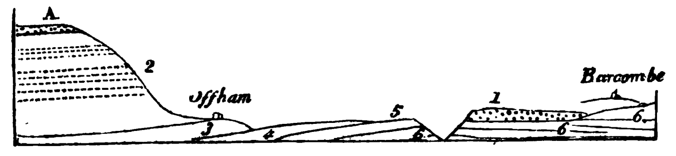


Fig. 331. — Coupe de l'escarpement Nord des Downs du Sud à Barcombe.

A. Lit de silex de la craie non arrondis. — 1. Gravier composé de silex de la craie en partie arrondis. — 2. Craie avec et sans silex. — 3. Craie inférieure, ou marne crayeuse (le Grès Vert Supérieur manque). — 4. Gault. — 5. Grès Vert Inférieur. — 6. Argile du Weald.

superficiel, bien que l'on puisse supposer que, par leur situation au pied d'escarpements où la destruction a été la plus grande, elles ont dû servir de réceptacles naturels aux débris des roches détruites. Le déblayage de ces cavités semblerait ne pouvoir être expliqué autrement que par quelque catastrophe extraordinaire.

L'état anguleux d'un grand nombre de silex dans le drift de Barcombe peut aussi être invoqué comme fournissant une preuve de causes de dénudation différant, quant à l'espèce et à l'intensité, de toutes celles qui ont été constatées jusqu'ici. Mais les géologues qui ont examiné le gravier à la base d'un rocher calcaire, sur les points où il n'est pas exposé particulièrement à l'action continue et violente des vagues, savent que les silex y conservent en grande partie leur angularité. On en voit des exemples dans les rochers de Old-Harry, Dorsetshire, et de Christchurch, Hampshire. Sur une grande partie de cette ligne de côtes, les falaises sont formées de couches tertiaires, surmontées d'une enveloppe épaisse de gravier dont les silex sont légèrement corrodés. Comme la destruction des falaises est rapide, les matériaux anciens sont graduellement remplacés par de nouveaux, et néanmoins ils offrent un exemple frappant d'angles bien conservés

après deux périodes d'attrition, la première où le gravier fut répandu sur les dépôts Éocènes, la seconde où les sables et argiles Éocènes, minés par les eaux, donnèrent naissance aux escarpements actuels.

La brèche à silex anguleux n'est point limitée au Weald ni aux gorges transversales de la Craie, mais elle s'étend le long de la côte voisine, de Brighton à Rottingdean, où elle a été appelée par le docteur Mantell la *Couche à Éléphants*, à cause des débris de Mammouth qui s'y rencontrent en abondance avec des os de cheval et d'autres mammifères. Voici la coupe de cette formation, prise à la falaise de Brighton (1).

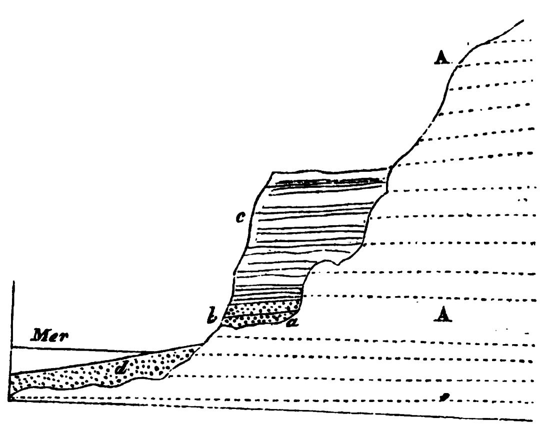


FIG. 332. — A. Craie avec lits de silex, plongeant légèrement au Sud. — *b*. Berge ancienne, consistant en sable fin, sur 30 à 120 centimètres d'épaisseur, recouverte sur une hauteur de 1 à 2 mètres de cailloux roulés de silex de la craie, de granit et d'autres roches, pêle-mêle avec des coquilles brisées d'espèces marines récentes et des os de Cétacés. — *c*. Couche à Éléphants, d'environ 15 mètres d'épaisseur, composée de petits lits de débris de craie avec silex de la craie, brisés; ces lits sont souvent plus confusément stratifiés qu'on ne les a représentés ici; dans le dépôt, on rencontre des ossements de Bœuf, de Daim, de Cheval et de Mammouth. — *d*. Sable et cailloux de la plage actuelle.

Pour expliquer cette coupe, nous devons supposer qu'après l'excavation de la roche A, la plage de sable et de galets *b* dut sa formation à l'action lente et continue de la mer. La présence de la *Littorina littorea* et d'autres coquilles littorales récentes assigne à cette accumulation une date moderne. Les lits qui la recouvrent sont composés de galets calcaires et de

(1) Voyez aussi sir R. Murchison, *Geol. Quart. Journ.*, vol. VII, p. 365.

silex grossièrement stratifiés, semblables à ceux que l'on rencontre fréquemment sur les côtes de Norfolk parmi le drift glaciaire, dépôt probablement d'origine contemporaine. Des cailloux et détritus calcaires analogues ont été signalés dernièrement par Sir Roderick Murchison à Folkestone et dans les falaises de Douvres; on a découvert sur ces différents points des dents d'éléphant fossile.

M. Prestwich a remarqué qu'à Sangatte près de Calais, sur la partie de la côte qui fait directement face à Douvres, il existe une plage pareillement usée par les eaux et recouverte d'une brèche à silex anguleux. J'ai moi-même reconnu que ce dépôt était tout à fait analogue à celui de Brighton. L'ancienne plage qui servait de base s'est élevée de plus de 3 mètres au-dessus de son niveau primitif. Les silex qu'elle renferme ont évidemment été arrondis au pied d'une ancienne falaise de craie dont on peut suivre, à 500 mètres environ du bord de la mer, la direction parallèle à la rive actuelle. L'intervalle est occupé par une terrasse d'environ 30 mètres de hauteur dont les matériaux sont extrêmement variés et complexes. J'imagine qu'ils ont dû s'accumuler de manière à dépasser le niveau de la mer dans le delta d'une rivière qui charriait de la craie blanche en grande quantité. Il est possible que ce delta ait baissé lentement pendant que les couches se formaient. Quelques-uns des lits composés de débris de craie et de silex paraissent avoir été traversés par des canaux avant le dépôt du sable et de l'argile qui les surmontent. La forme anguleuse des silex provient peut-être, suivant M. Prestwich, de ce qu'ils auraient été antérieurement brisés dans la masse même de craie, car cette roche contient souvent des cailloux ainsi fracturés en place, surtout lorsqu'il y a eu de violentes dislocations. Mentionnons aussi la présence dans le drift de Sangatte de gros fragments anguleux dont quelques-uns mesurent jusqu'à 60 centimètres de diamètre. Ils sont confusément mêlés de boue fine et de gravier plus menu; la masse générale n'est point stratifiée, et se trouve souvent trop éloignée des anciennes falaises pour

avoir constitué un talus. Je pense que les eaux de la rivière et de ses tributaires auront accidentellement gelé, et que, pendant la marée, la puissance d'action de la glace, jointe à celle de l'eau, aura transporté les roches fragiles et les silex anguleux pour les abandonner ensuite confusément lors de la fonte de la glace, mais sans contribuer en rien à leur arrangement selon leurs dimensions ou leur poids, comme cela arrive dans les dépôts que stratifie l'eau en mouvement. Un climat analogue à celui qui règne aujourd'hui sur les bords de la Baltique ou au Canada eût été capable de produire de semblables effets longtemps après la cessation du froid intense de l'époque glaciaire. L'abondance des mammifères dans les régions où les rivières sont sujettes à se couvrir annuellement de glaces est un fait auquel nous sommes habitués dans l'hémisphère du Nord; ne nous étonnons donc pas de rencontrer fréquemment des restes fossiles de quadrupèdes dans des formations d'origine glaciaire.

Quant à la forme anguleuse des silex, quelques autorités scientifiques l'attribuent à la violence du transport par les eaux, surtout dans les cas où les cailloux offrent encore des arêtes tranchantes, et sont accompagnés d'éclats irréguliers semblables à ceux qu'auraient produits les chocs de corps très lourds. On voit fréquemment de ces silex brisés dans le terrain de transport de la vallée de la Tamise. A ce sujet, je ferai remarquer que, dans les couches à cailloux de Blackheath et autres couches Éocènes, il n'est pas rare de rencontrer des galets ovoïdaux de silex dans un tel état d'altération, que le coup le plus modéré suffit pour les briser; or, les galets entraînés dans le lit d'une rivière grosse et rapide doivent se trouver fréquemment exposés à des accidents de cette nature.

Il est un fait incontesté pour les géologues, c'est que le Weald a émergé du fond de la mer après l'origine de la craie, roche de formation marine, et qui se trouve aujourd'hui à sec. Peu de personnes nieront qu'une portion du même terrain soit restée sous les eaux jusqu'après l'origine des dépôts Éocènes, car ceux-ci sont marins aussi et vont jusqu'au pied

des collines de craie. Que l'on admette ou non le fait de submersions et d'émersions réitérées survenues, les premières à une époque aussi ancienne que celle de la Craie Supérieure, et les dernières, peut-être, pendant la période du Nouveau Pliocène ou même postérieurement, on est forcé, en définitive, de reconnaître qu'à un moment quelconque, les eaux de la mer se retirèrent de la contrée dont il est ici question. Les coquilles d'eau douce et terrestres, les os de quadrupèdes terrestres qu'on rencontre dans le gravier, le limon et la brèche à silex du Weald, peuvent indiquer une origine fluviatile, mais ils ne sauraient, à coup sûr, prouver que le terrain n'a pas été antérieurement occupé par la mer. Des pluies abondantes ou prolongées, des inondations, la décomposition lente des roches par l'atmosphère, l'action des rivières, dont quelques-unes étaient beaucoup plus larges que celles qui parcourent aujourd'hui les mêmes vallées, ont pu modifier la surface du sol et effacer tout signe de la présence ancienne de la mer.

Les coquilles littorales, autrefois répandues sur les anciens rivages ou enfouies dans les sables de la plage, sont souvent décomposées au point que l'on ne peut assigner une date paléontologique précise aux plus anciens actes de dénudation ; mais le déplacement de la Craie et du Grès Vert hors de l'axe central du Weald, les inégalités des collines et des vallons, les lignes prolongées d'escarpement, les vallées transversales et longitudinales, tous ces phénomènes peuvent être considérés comme le produit de l'action des vagues ou des courants de la mer, aidée par des abaissements, exhaussements ou dislocations des roches que personne ne contestera.

Désespérant de pouvoir résoudre par des causes ordinaires le problème de la configuration géographique et de la structure du Weald, quelques géologues ont supposé des « irruptions d'eau salée » qui auraient eu lieu sur les terres lors de l'exhaussement subit du lit de la mer, à l'époque où se dessina l'axe anticlinal du Weald. D'autres géologues ont imaginé de volumineux courants d'eau douce qui auraient jailli de

réservoirs souterrains à un moment où les roches étaient agitées par des tremblements de terre d'une violence extrême. Ces savants ont invoqué avec autorité l'unité de causes et de résultats; selon eux, la catastrophe aurait été soudaine, tumultueuse et paroxysmale; d'énormes fragments de pierres auraient été entraînés à de grandes distances, sans être fracturés; l'alluvion se serait répandue sans stratification, souvent dans les positions les plus étranges, sur les flancs ou sur le sommet des montagnes par exemple, tandis que les parties basses en auraient été complétement dépourvues. Les convulsions se seraient fait sentir simultanément sur des espaces si étendus, que tous les individus de certaines espèces de quadrupèdes auraient été détruits à la fois; cet événement, enfin, serait de date comparativement récente, car les espèces de testacés qui vivent aujourd'hui existaient déjà.

Cette hypothèse n'est pas soutenable, et de plus elle n'est pas nécessaire. Je viens de montrer combien avaient été nombreuses les périodes de changements géographiques, et combien avait été grande leur durée. J'invoque comme preuves la position relative de la craie et des dépôts tertiaires; la nature, le caractère, et la place qu'occupent les couches; enfin, les alluvions qui se trouvent à la surface du Weald et des contrées qui l'avoisinent. Quant au détritus superficiel, il ne faut pas perdre de vue que son volume est insignifiant relativement à celui des roches qui ont pu disparaître. Il est évident qu'une masse montagneuse de matière solide, de plusieurs centaines de kilomètres carrés de surface sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, a été emportée. A quelle distance l'a-t-elle été? C'est ce que nous ne savons pas; mais certainement elle a dépassé les limites du Weald. Pour un pareil travail, tout agent transitoire et instantané serait insuffisant. La seule puissance capable de l'accomplir, c'est la force mécanique de l'eau tenue en mouvement et opérant graduellement pendant des siècles. Nous avons déjà démontré que chaque portion stratifiée de la croûte terrestre est le monument d'une dénudation opérée

sur une grande échelle, mais toujours avec lenteur ; toutes les couches superposées, quelque minces qu'elles soient, représentent des élaborations successives et séparées. Donc, chaque fois que l'on prétend circonscrire le temps pendant lequel s'est effectuée une grande dénudation ancienne ou récente, on est conduit à nier gratuitement le seul pouvoir mécanique connu qui soit susceptible de produire de tels résultats.

Si, par conséquent, à chaque époque, depuis le Cambrien jusqu'au Pliocène inclusivement, des masses volumineuses de matières comme celles qui manquent dans le Weald ont été transportées d'une place à l'autre et l'ont toujours été graduellement, c'est folie d'imaginer qu'une exception ait eu lieu dans la région même où l'on peut prouver que le premier et le dernier acte de dénudation ont été séparés par un si long intervalle de temps.

CHAPITRE XX.

GROUPE JURASSIQUE. — COUCHES DU PURBECK ET DE L'OOLITE.

Les couches du Purbeck constituent un membre du groupe Jurassique. — Sous-divisions de ce groupe. — Géographie physique de l'Oolite en Angleterre et en France. — Oolite Supérieure. — Couches du Purbeck. — Nouveau mammifère fossile trouvé à Swanage. — Lit de boue, ou sol ancien. — Fossiles des couches du Purbeck. — Pierre de Portland et ses fossiles. — Pierre lithographique de Solenhofen. — Oolite Moyenne. — Coral Rag. — — Zoophytes. — Calcaire à Nérinées. — Calcaire à Dicéras. — Argile d'Oxford. — Ammonites et Bélemnites. — Oolite Inférieure, Crinoïdes. — Grande Oolite et argile de Bradford. — Schiste de Stonesfield. — Mammifères fossiles placentaires et marsupiaux. — Ressemblance avec la faune Australienne. — Schistes du comté de Northampton. — Bassin houiller Oolitique du Yorkshire. — Charbon de Brora. — Terre à foulon. — Oolite Inférieure et ses fossiles.

Immédiatement au-dessous des Sables de Hastings, on trouve dans le Dorsetshire une autre formation remarquable d'eau douce qui a reçu le nom de *Purbeck*, parce que c'est dans les falaises de la péninsule de Purbeck qu'on en a fait la première étude. Anciennement, les couches de cette formation avaient été groupées avec celles du Weald, mais des débris organiques, découverts tout récemment dans certains lits marins de la série, ont montré que celle-ci se rattachait étroitement au groupe Oolitique, dont on peut la considérer comme le membre le plus nouveau et le plus élevé.

Généralement en Angleterre, comme dans la plus grande partie de l'Europe, le Weald et le Purbeck manquent, et le groupe marin Crétacé est immédiatement suivi, dans l'ordre descendant, par une autre série appelée Jurassique. Ce dernier terrain comprend les formations ordinairement désignées sous les noms de « Oolite et Lias » que l'on observe dans les montagnes du Jura. L'Oolite a été ainsi nommée, parce que, dans les pays où elle fut observée pour la première fois, les calcaires qui la composent présentent la structure

oolitique (voy. p. 20). Ces roches occupent en Angleterre une zone d'environ 48 kilomètres de largeur, depuis le Yorkshire dans le nord-est jusqu'au Dorsetshire dans le sud-ouest. Leurs caractères minéralogiques ne sont pas uniformes sur toute cette région, mais voici les noms des principales sous-divisions observées dans le centre et le sud-est de l'Angleterre :

OOLITE.

Supérieure....	*a*. Lits du Purbeck. *b*. Calcaire et sable de Portland. *c*. Argile de Kimmeridge.
Moyenne.	*d*. Coral rag. *e*. Argile d'Oxford.
Inférieure....	*f*. Cornbrash et Forest Marble. *g*. Grande Oolite et schiste de Stonesfield. *h*. Terre à foulon. *i*. Oolite Inférieure.

Le Lias succède à l'Oolite Inférieure.

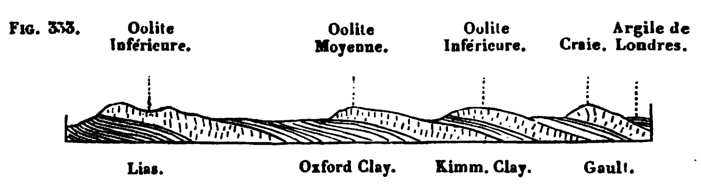
Le système Oolitique Supérieur de ce tableau a généralement pour base l'argile de Kimmeridge ; le système Oolitique Moyen se termine par l'argile d'Oxford. Le système Inférieur repose sur le Lias, formation argilo-calcaire qui pénètre un peu dans l'Oolite Inférieure, mais dont nous parlerons séparément dans le chapitre suivant. Des débris organiques particuliers distinguent plusieurs de ces sous-divisions ; et quoique celles-ci varient dans leur épaisseur, on peut quelquefois les suivre sur de longues distances, surtout si l'on compare avec le nord-est de la France et les montagnes du Jura la partie de l'Angleterre à laquelle le type en question se rapporte. Dans ces contrées, distantes de notre île de plus de 650 kilomètres, la série, malgré le peu d'épaisseur ou l'absence accidentelle de l'argile, offre avec le type anglais ordinaire une analogie beaucoup plus frappante que celle qu'on rencontre dans le Yorkshire ou la Normandie.

Géographie physique. — Les alternances, sur une grande échelle, de formations distinctes d'argile et de calcaire, ont imprimé, en Angleterre et en France, une physionomie particulière aux séries oolitique et liasique. Il existe à travers de lon-

gues étendues de pays des vallées profondes où affleurent les couches argileuses; entre ces vallées, les calcaires constituent des rangées de collines ou de montagnes qui se terminent sous forme abrupte vers les points où les argiles s'élèvent de dessous les couches calcaires.

La coupe suivante donnera une idée de la configuration du terrain telle qu'on peut l'observer de Londres à Cheltenham,

FIG. 333.



ou sur d'autres lignes parallèles, de l'est à l'ouest, dans le sud de l'Angleterre.

Dans cette coupe, j'ai exagéré de beaucoup l'inclinaison des lits, et la hauteur de plusieurs des formations comparativement à leur étendue horizontale. On remarquera que les lignes d'escarpement font face, du côté de l'ouest, à de hautes éminences calcaires formées par la Craie et par les Oolites Supérieure, Moyenne et Inférieure, vers la base desquelles on trouve respectivement le Gault, l'Argile d'Oxford, de Kimmeridge, ainsi que le Lias. Ce dernier constitue généralement une longue vallée au pied de l'Oolite inférieure; mais, sur les points où il acquiert une épaisseur considérable et renferme des couches solides de marne, il occupe la partie inférieure de l'escarpement.

La configuration extérieure du pays que le géologue observe de Paris à Metz est exactement semblable; elle est due à une même succession de roches, du terrain tertiaire au Lias, avec cette différence, cependant, que les escarpements de la Craie et des Oolites Supérieure, Moyenne et Inférieure regardent à l'est et non à l'ouest.

La Craie affleure de dessous les sables et argiles tertiaires du bassin de Paris, près d'Épernay ; le Gault se montre pareillement au-dessous de la Craie et du Grès vert Supérieur à Cler-

mont en Argonne. En allant de cette ville à Metz, par Verdun et Étain, on rencontre deux rangées de collines calcaires avec vallons dans l'argile, exacte reproduction de celles du Sud et du Centre de l'Angleterre ; enfin, on arrive à la grande plaine du Lias, qui se trouve à la base de l'Oolite Inférieure à Metz.

Il est donc évident que les causes de dénudation ont agi d'une manière uniforme sur une surface de plusieurs centaines de kilomètres, attaquant les argiles tendres beaucoup plus efficacement que les calcaires, et imprimant à ces dernières roches la forme d'escarpements abrupts, sur les différents points où elles avaient pour base une argile plus facile à détruire.

OOLITE SUPÉRIEURE.

Couches du Purbeck. (*a*, Tableau, p. 451). — Ces couches, que nous classons comme le membre le plus élevé de l'Oolite, occupent en Europe une étendue géographique très limitée, mais elles acquièrent de l'importance en ce qu'elles offrent une succession de trois groupes fossilifères distincts. De pareils changements dans la vie organique ont exigé une longue suite de siècles.

Les couches du Purbeck sont magnifiquement représentées dans la baie de Durdlestone près de Swanage, Dorsetshire, et à Lulworth Cove, ainsi que dans les baies environnantes, entre Weymouth et Swanage. Dans la baie de Meup, en particulier, M. Forbes a étudié minutieusement les restes fossiles de ce groupe à travers une section continue de falaises ; il a constaté que les Purbeck Supérieur, Moyen et Inférieur sont caractérisés par des espèces particulières de débris organiques, et que ces espèces diffèrent, autant du moins que l'on a pu établir une comparaison, de celles des Sables de Hastings qui gisent au-dessus, et de celles de l'Argile Wealdienne (1).

(1) *Sur les Purbeck du Dorsetshire*, par Ed. Forbes (*Brit. Assoc. Edinb.*, 1850).

Purbeck Supérieur. — La plus élevée des trois divisions est exclusivement une formation d'eau douce ; ses couches, qui ont environ 15 mètres d'épaisseur, renferment des coquilles des genres *Paludina*, *Physa*, *Lymnæa*, *Planorbis*, *Valvata*, *Cyclas* et *Unio*, avec des *Cypris* et des poissons. Toutes les espèces semblent particulières ; parmi elles, dominent des Cypris caractéristiques (fig. 334, *a*, *b*, *c*).

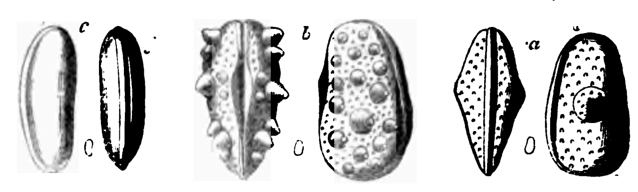


FIG. 334. — Cypris du Purbeck Supérieur.

a. Cypris gibbosa, E. Forbes. — *b. Cypris tuberculata*, E. Forbes. *c. Cypris leguminella*, E. Forbes.

La pierre nommée Marbre de Purbeck, dont on a fait usage autrefois dans l'architecture des cathédrales en Angleterre, appartient exclusivement à cette division.

Purbeck Moyen. — Cette division mesure environ 9 mètres d'épaisseur ; sa partie supérieure est un calcaire d'eau douce contenant des Cypris, des tortues et des poissons tout à fait différents de ceux des lits précédents. Au-dessous du calcaire sont des formations d'eau saumâtre, remplies de *Cyrenæ*, et alternant avec des bancs qui abondent en *Corbula* et *Melania*.

Plus bas vient un dépôt purement marin avec *Pecten*, *Modiola*, *Thracia* et *Avicula*, d'espèces toutes nouvelles. On rencontre ensuite, toujours dans l'ordre descendant, des calcaires et des schistes, originaires en partie de l'eau saumâtre et en partie de l'eau douce, et qui contiennent une grande quantité de poissons, surtout des *Lepidotus* et le *Microdon radiatus*, ainsi qu'un crocodilien auquel on a donné le nom de *Macrorhynchus*. Parmi les Mollusques on cite une *Melania* à côtes, de la section des *Chilira.*

Immédiatement au-dessous, est la grande et belle couche, de 3 mètres d'épaisseur, depuis longtemps connue des géologues sous le nom local de « *Cinder-bed* » (lit de cendre) ;

elle est formée d'une immense agglomération de coquilles d'*Ostræa distorta* (fig. 335). Dans la partie tout à fait supérieure de ce lit, Forbes a découvert le premier échino-

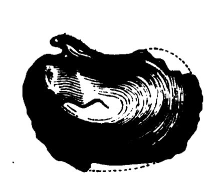


FIG. 335. — *Ostræa distorta.* Cinder-bed, Purbeck Moyen.



FIG. 336. — *Hemicidaris Purbeckensis,* E. Forbes. Purbeck Moyen.

derme (fig. 336) que l'on eût encore vu dans la série du Purbeck : c'est une espèce d'*Hemicidaris*, genre caractéristique de la période Oolitique, que l'on a de la peine à distinguer, si même on la distingue, d'une autre espèce oolitique déjà connue. Cet échinoderme était accompagné d'une *Perna*.

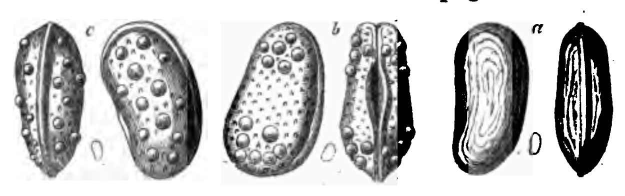


FIG. 337. — Cypris du Purbeck Moyen.
a. Cypris striato-punctata, E. Forbes. — *b. Cypris fasciculata,* E. Forbes.
c. Cypris granulata, Sow.

Au-dessous du *Cinder-bed* on revoit de nouveaux lits d'eau douce, remplis en plusieurs endroits de diverses espèces de *Cypris* (fig. 337, *a*, *b*, *c*), de *Valvata*, *Paludina*, *Planorbis*, *Limnæa*, *Physa* (fig. 338) et *Cyclas*, toutes différentes de celles que l'on rencontre plus haut dans la série. La *Cypris fasciculata* (fig. 337) n'a de tubercules qu'aux extrémités de chaque valve; c'est un caractère qui permet de la reconnaître immédiatement. En résumé, ces petits crustacés, aussi abondants dans leurs gisements que les lamelles de

FIG. 338. — *Physa Bristovii*, E. Forbes. Purbeck Moyen.

mica dans les grès micacés, font retrouver le Purbeck Moyen, même dans les localités éloignées du comté de Dorset, par exemple dans le vallon de Wardour, Wiltshire. On observe aussi dans le Purbeck Moyen des lits épais et siliceux de chert, remplis de mollusques et de Cypris appartenant aux genres précédemment énumérés : ces fossiles présentent le plus bel état de conservation ; ils sont souvent convertis en calcédoine. Forbes a recueilli également dans ces couches des gyrogonites (sporanges de *Chara*), plantes que l'on n'avait pas encore découvertes dans les roches plus anciennes que l'Éocène. Au sein d'une couche de cette série, à 6 mètres environ au-dessous du Cinder-bed, M. Brodie a trouvé dernièrement (1854), dans la baie de Durdlestone, quelques fragments de petites mâchoires et des dents que le docteur Owen a reconnu comme appartenant à un petit mammifère insectivore. Ces dents, munies de pointes en forme de croissant, ressemblent un peu à celles de la Taupe du Cap (*Chrysochlora aurea*) ; mais le nombre des molaires (10 au moins à chaque branche de la mâchoire inférieure) s'accorde parfaitement avec la race éteinte des *Thylacotherium* de l'Oolite de Stonesfield (voy. plus bas chap. XX). De même que chez ce dernier animal, l'apophyse angulaire de la mâchoire n'est point courbée en dedans, comme on l'observe chez les Marsupiaux (voy. chap. XX), et M. Owen en a conclu que le *Spalacotherium* devait être rangé dans la classe ordinaire des mammifères monodelphes ou placentaires.

Dans une édition précédente de cet ouvrage (1852), après avoir parlé de la découverte de nombreux insectes et de mollusques terrestres dans le Purbeck, je disais : « Quoique » l'on n'ait encore rencontré jusqu'à ce moment aucun mam- » mifère dans la formation, il est encore trop tôt pour con- » clure définitivement d'après des caractères purement néga- » tifs qu'il n'en existait aucun. » La rareté des débris de mammifères dans les roches Oolitiques, et leur absence jusqu'à ce jour dans les dépôts Crétacés, font supposer que ces animaux furent peu abondants dans ces périodes, et leur

nombre limité dut probablement coïncider avec le développement plus considérable de la faune erpétologique, comparée à celle des époques Tertiaire ou Récente. S'il en fut ainsi, le phénomène n'eut aucune relation avec des conditions premières ou incomplètes de la planète, comme l'ont imaginé certains géologues; car, bien loin d'être particulier à une époque primaire, ou même seulement à une époque secondaire ancienne, il appartient à la craie de Maestricht, la plus récente subdivision des séries crétacées, et s'y manifeste d'une manière plus tranchée que dans les plus anciennes roches oolitiques. Néanmoins, dans l'imperfection actuelle de nos connaissances sur les animaux terrestres des périodes Crétacée et Jurassique, animaux que l'on a recueillis exclusivement dans des couches marines et fluviatiles, et vu notre ignorance absolue des dépôts qui se sont formés dans les lacs et les cavernes de la même date, il serait prématuré d'entreprendre des généralisations sur la nature d'une faune terrestre aussi ancienne.

Inférieurement aux couches d'eau douce que nous venons de décrire, c'est-à-dire à la base du Purbeck Moyen, il existe une bande très mince de schistes verdâtres avec coquilles marines et empreintes de feuilles parmi lesquelles on remarque celles d'un grand *Zostera.*

Purbeck Inférieur. — Au-dessous de cette mince bande de formation marine, on trouve des marnes d'eau douce qui

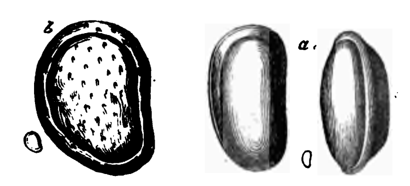


FIG. 339. — Cypris du Purbeck Inférieur. — *a. Cypris Purbeckensis*, E. Forbes. *b. Cypris punctata*, E. Forbes.

renferment des espèces de *Cypris* (fig. 339, *a*, *b*), des *Valvata* et des *Limnæa* différentes de celles du Purbeck Moyen. Là commence la division inférieure qui mesure 28 mètres d'épaisseur. Après ces marnes, à la baie de Meup, on voit

des lits d'eau saumâtre épais de plus de 9 mètres et qui abondent en une espèce de *Serpula* semblable, sinon identique, à la *Serpula coacervites* des lits du même âge dans le Hanovre. Il s'y rencontre également, avec des Cypris, des coquilles du genre *Rissoa* (sous-genre *Hydrobia*) et un petit *Cardium* (sous-genre *Protocardium*). A l'extrémité ouest de l'île de Purbeck, quelques-uns des schistes à Cypris sont fortement contournés et brisés.

Le grand lit de boue (*dirt-bed*) qu'il me reste à décrire, ancien sol végétal où gisent des racines et des débris de Cycadées, est au-dessous de ces marnes, et repose sur un calcaire d'eau douce inférieur; ce calcaire, qui a 2 mètres environ d'épaisseur, renferme des *Cyclas*, *Valvata* et *Limnæa* des mêmes espèces que celles de la partie du Purbeck Inférieur qui recouvre le lit de boue. A son tour, le calcaire d'eau douce surmonte les lits supérieurs du Portland Stone, lequel, malgré la nature exclusivement marine de ses fossiles, possède souvent des caractères minéralogiques tout à fait semblables à ceux du calcaire du Purbeck Inférieur (1).

De toutes les séries de couches précédentes, la plus remarquable est celle que les carriers appellent *la boue* (*the dirt*), ou *boue noire* (*black dirt*) ; évidemment, elle a été jadis un sol végétal. Son épaisseur est de 30 à 45 centimètres; sa couleur est d'un brun-noirâtre, ou plutôt noire; elle contient une forte proportion de lignite terreux. A travers la masse sont disséminés des fragments de pierre arrondis, de 75 à 225 millimètres de diamètre, et en assez grand nombre pour constituer une espèce de gravier. Dans la



FIG. 340. — *Cycadeoidea* (*Mantellia*) *megalophylla*, Buckland.

(1) Weston, *Geol. Quart. Journ.*, vol. VIII, p. 117.

couche, on trouve enfouis des troncs silicifiés de Conifères et des débris de plantes alliées aux *Zamia* et aux *Cycas* (fig. 340, espèce fossile, et 341, *Zamia* vivant). Ces plantes ont dû être fossilisées sur l'emplacement même où elles ont végété ;



FIG. 341. -- *Zamia spiralis*. Australie méridionale.

les troncs d'arbres sont en position verticale ; leur longueur varie de 30 à 40 centimètres. Un d'entre eux mesurait plus de 2 mètres. Les racines sont fixées au sol et aussi espacées les unes des autres que celles des arbres de nos forêts (1). La matière charbonneuse abonde immédiatement autour des débris (2).

Outre ces troncs en position verticale, le lit de boue contient des fragments d'arbres silicifiés, en partie enfoncés dans la terre noire, et en partie enveloppés d'un schiste calcaire qui recouvre le lit de boue. Ces tronçons couchés ont rarement plus de 90 centimètres à 1 mètre 20 centimètres ; mais en réunissant plusieurs d'entre eux, on a pu restaurer quelques individus qui ont présenté, de la racine aux branches, une longueur de 7 mètres environ, la tige ne se ramifiant pas avant une hauteur de 5 à 6 mètres. Le diamètre de ces tiges était, près des racines, de 30 centimètres. M. Henslow a observé des cavités présentant la forme de racines et descendant du fond du lit de boue dans la pierre d'eau douce

(1) M. Webster a le premier signalé la position verticale des arbres, et décrit la couche de boue.

(2) Fitton, *Geol. Trans.*, 2e série, vol. IV, p. 220, 221.

qui se trouve au-dessous ; cette pierre, devenue solide aujourd'hui, pouvait être molle et facile à pénétrer à l'époque où les arbres croissaient (1). Les lits minces de schiste calcaire (fig. 342) indiquent évidemment un dépôt tranquille, et ils



FIG. 342. — Coupe de l'île de Portland, Dorset. (Buckland et de la Bèche.)

eussent été horizontaux sans les saillies produites par les troncs d'arbres au sommet desquels ils forment des concrétions hémisphériques.

Le lit de boue n'est point limité à l'île de Portland ; on le retrouve dans la même position relative le long des falaises Est de Lulworth Cove, Dorsetshire ; les couches ont été dérangées au point de subir une inclinaison de 45 degrés, et les troncs d'arbres se trouvent inclinés sous le même angle dans une direction transversale : c'est un bel exemple d'un

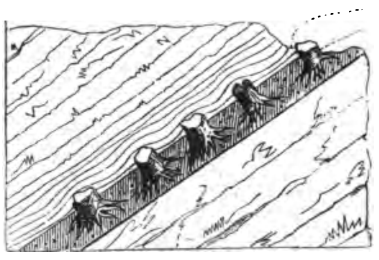


FIG. 343. — Coupe d'un rocher à l'est de Lulworth Cove. (Buckland et de la Bèche.)

changement de position de couches primitivement horizontales (fig. 343). Des traces d'un lit de boue ont été observées par

(1) Buckland et de la Bèche, *Geol. Trans.*, 2ᵉ série, vol. IV, p. 16. M. Forbes affirme que la roche sous-jacente est un calcaire d'eau douce, et non une portion de l'oolite de Portland, comme on l'avait d'abord supposé.

M. Fisher à Ridgway ; le docteur Buckland en a découvert à 3 kilomètres nord de la Tamise, dans l'Oxfordshire, et le docteur Fitton, dans les roches du Boulonnais, sur la côte de France ; mais, comme on devait s'y attendre, ce dépôt d'eau douce présente une étendue limitée comparativement à la plupart des formations marines.

Des faits qui précèdent on peut déduire d'abord que les lits de l'Oolite Supérieure, appelés le *Portland*, et qui sont remplis de coquilles marines, furent dans le principe recouverts de boue fluviatile ; que plus tard celle-ci, mise à sec, se couvrit de forêts dans toute l'étendue de l'espace qui constitue aujourd'hui le sud de l'Angleterre, et cela à une époque où le climat permettait le développement des *Zamia* et des *Cycas ;* qu'ensuite, le sol vint à baisser et fut submergé avec ses forêts par une masse d'eau douce où se déposa un sédiment avec coquilles fluviatiles. Enfin, la conservation régulière et uniforme de cette couche mince de terre noire, sur une étendue de plusieurs kilomètres, montre que la conversion du sol émergé en lac d'eau douce ou en estuaire ne fut accompagnée d'aucune dénudation violente ni d'aucune irruption des eaux, puisque la terre noire meuble, ainsi que les arbres qui gisent à sa surface, eussent été inévitablement entraînés s'il fût survenu quelque catastrophe violente.

Nous venons de décrire le lit de boue dans sa manière d'être la plus simple ; mais, sur certains points, il présente une disposition beaucoup plus compliquée. La forêt n'a pas été partout la première végétation développée dans cette région ; on a découvert au-dessous du lit de boue deux autres lits d'argile charbonneuse dont l'un renfermait des *Cycadées* en position verticale ; un autre lit se rencontre au-dessus, et ces diverses circonstances indiquent de nombreuses oscillations dans le niveau de ce terrain plusieurs fois occupé, puis abandonné par les eaux.

Tableau indiquant les changements des milieux dans lesquels les couches ont été formées, dans le sud-est de l'Angleterre, depuis le Portland Stone jusqu'au Grès Vert Inférieur inclusivement, à partir des plus inférieures.

1. Marin........	Portland Stone.
2. D'eau douce...	Purbeck Inférieur.
Terrestre	
D'eau douce...	
Terrestre.	
D'eau douce...	
Terrestre (Lit de boue).	
D'eau douce...	
Terrestre.	
D'eau saumâtre.	
D'eau douce...	
3. Marin	Purbeck Moyen.
D'eau douce...	
Marin.	
D'eau saumâtre.	
Marin	
D'eau saumâtre.	
D'eau douce...	
4. D'eau douce...	Purbeck Supérieur.
5. D'eau douce...	Sables de Hastings.
D'eau saumâtre.	
D'eau douce...	
6. D'eau douce...	Argile Wealdienne.
7. Marin........	Grès vert Inférieur.

Ce tableau permet de saisir d'un seul coup d'œil les changements qui ont eu lieu successivement dans cette partie de l'Angleterre, entre les périodes Oolitique et Crétacée : une rivière a succédé à une mer, ou une mer à une rivière, ou à celle-ci une terre, et ainsi de suite. Les observations récentes de M. Forbes ont constaté au moins quatre changements d'espèces de testacés pendant le dépôt des lits du Weald et du Purbeck. Il ne faudrait donc pas s'étonner si, par la suite, on venait encore à découvrir les traces de plusieurs autres occupations du même terrain par des éléments nouveaux. Même durant une petite portion de telle époque qui n'aura pas été assez longue pour que certaines espèces aient pu disparaître, on remarquera que le même sol aura été alternativement à sec, puis submergé et mis à sec de nouveau, comme cela s'observe dans les deltas du Pô et du Gange, dont le forage des puits artésiens nous fait connaître l'histoire et le mode de formation (1). De semblables révolutions se sont accomplies en 1819 dans le delta de l'Indus, à Cutch (2), où la terre s'est trouvée pendant un certain temps recouverte par des eaux de rivière et de mer sans que le

(1) Voyez *Principes de Géologie*, 9e édition, p. 255, 277.

(2) *Ibid.*, p. 460.

sol ni les arbustes en aient été enlevés. Indépendamment des mouvements verticaux de la terre, nous remarquons dans les deltas principaux, comme celui du Mississipi, que la mer s'étend chaque année pendant des mois entiers sur des surfaces considérables qui, dans la saison des inondations, sont envahies par les eaux de rivière.

Il est bon d'observer que la division du *Purbeck* en parties Supérieure, Moyenne et Inférieure a été établie par M. Forbes d'après le principe rigoureux de la distinction des espèces organiques qu'elles renferment. Les lignes de démarcation ne sont point des lignes de dislocation; elles ne sont non plus indiquées par aucun caractère physique frappant ni par des changements minéralogiques. Les traits qui particularisent le Purbeck ainsi que les lits de boue, les couches disloquées de Lulworth et le lit de cendre, n'impliquent positivement aucune perturbation dans la répartition des êtres organisés. « On doit chercher, dit ce naturaliste, les causes qui ont par trois fois opéré un changement complet de la vie pendant le dépôt des couches d'eau douce et d'eau saumâtre, non-seulement dans les transformations rapides ou instantanées du sol alternativement submergé et exondé, mais encore dans le laps de temps considérable qui s'est écoulé entre les époques de dépôt. »

Chaque lit de boue peut rappeler sans doute bien des milliers d'années, car c'est à peine si les plus vieilles forêts des tropiques laissent sur le sol qui les a portées quelques centimètres de terre végétale comme monument de leur existence. Toutefois, même en admettant que les sols fossiles du Purbeck Inférieur représentent une série de siècles aussi considérable, il ne faut pas s'attendre à les voir constituer des lignes de séparation entre les couches successives, caractérisées par différents types zoologiques. La conservation d'un lambeau de sol végétal pendant que la submersion se produit doit être considérée comme une rare exception à la règle générale. Une couche de nature aussi peu consistante ne saurait guère manquer d'être enlevée par les

vagues, les courants marins ou même les eaux des rivières. Indépendamment des lits de boue qui subsistent encore dans le Purbeck, il en a probablement existé bien d'autres qui ont successivement disparu. Les plantes trouvées jusqu'à présent dans les couches sont principalement des Fougères, Conifères (fig. 344) et Cycadées (fig. 340). Il ne s'y rencontre pas de Dicotylédonés angiospermes c'est une végétation plutôt Oolitique que Crétacée. Les animaux vertébrés ou invertébrés, de même que les plantes, y montrent plus d'affinité avec la période de l'Oolite qu'avec celle de la Craie. M. Brodie a découvert dans le dépôt des restes d'insectes Homoptères et Trichoptères; quelques-uns de ces insectes vivent aujourd'hui sur les plantes; d'autres voltigent à la surface de nos rivières.



FIG. 344. — Cône de pin, de l'île de Purbeck. (Fitton.)

Calcaire et Sable de Portland (*b*, Tabl., p. 451). — Nous avons déjà dit que le Portland Stone formait dans le Dorsetshire la base du calcaire d'eau douce du Purbeck Inférieur; c'est cette division qui a fourni les pierres pour la construction de Saint-Paul et des principaux édifice de Londres. Elle repose sur une couche épaisse de sable nommé



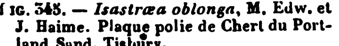


FIG. 345. — *Isastræa oblonga*, M. Edw. et J. Haime. Plaque polie de Chert du Portland Sand, Tisbury.



FIG. 346. — *Trigonia gibbosa*, demi-grandeur naturelle. — *a*. La charnière. Portland Stone, Tisbury.

Sable de Portland, qui renferme des fossiles marins à peu près semblables et surmonte l'argile de Kimmeridge. Ces

formations Oolitiques supérieures ne se rencontrent en Angleterre que dans les contrées du Sud. Les coraux y sont rares, bien qu'une espèce abonde à Tisbury, Wiltshire, dans le sable de Portland ; il y a substitution du Chert et du Silex à la matière calcaire primitive (fig. 345).

Argile de Kimmeridge. — Elle est en grande partie composée de schistes bitumineux qui fournissent parfois une

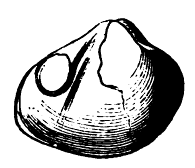


FIG. 347.— *Cardium dissimile*, quart de grandeur naturelle. Portland Stone.

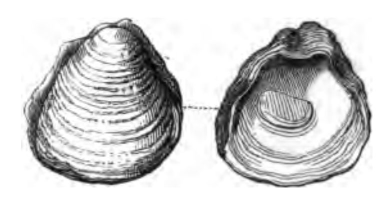


FIG. 348. — *Ostræa expansa*. Portland Sand.

houille impure ; son épaisseur monte à plusieurs centaines de mètres. En certains endroits du Wiltshire elle ressemble à la tourbe ; la matière bitumineuse doit alors provenir en partie de la décomposition de végétaux ; mais, comme les empreintes de plantes sont rares dans ces schistes, qui contiennent au contraire des Ammonites, des Huîtres et autres coquilles marines, le bitume peut bien avoir une origine animale. Parmi les fossiles caractéristiques sont le *Cardium striatulum* (fig. 349)

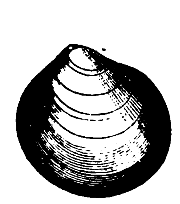


FIG. 349. — *Cardium striatulum*. Argile de Kimmeridge, Hartwell.



FIG. 350.— *Ostræa deltoidea*.



FIG. 351. — *Gryphæa virgula*.

Quart de grandeur naturelle. Oolite Supérieure ; argile de Kimmeridge.

et l'*Ostræa deltoidea* (fig. 350) ; cette dernière est répandue dans l'argile de Kimmeridge sur toute l'Angleterre et dans le nord de la France, ainsi qu'en Écosse, où on la rencontre

près de Brora. La *Gryphæa virgula* (fig. 351) se trouve dans la même argile près d'Oxford; elle est si abondante dans l'Oolite Supérieure de France, que l'on a donné aux dépôts qu'elle forme le nom de *Marne à Gryphées virgules*. Près de Clermont en Argonne, à quelques kilomètres de Sainte-Ménehould, ces marnes endurcies affleurent dessous le Gault. J'ai vu les sillons creusés par la charrue littéralement couverts de ces huîtres fossiles. Le *Trigonellites latus* (*Aptychus* de quelques auteurs) (fig. 352) existe aussi dans l'argile en très grande abondance. La véritable nature de cette coquille, dont on compte plusieurs espèces dans les roches oolitiques, n'est pas encore bien connue. Quelques géologues pensent que les deux valves constituaient le gésier d'un céphalopode, parce que, chez le Nautile vivant, on observe un gésier à plis cornés; on sait également que celui de la *Bulla* est formé de deux plaques calcaires.

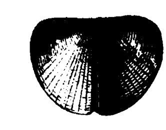


FIG. 352. — *Trigonellites latus*, argile de Kimmeridge.



FIG. 353. — Squelette de *Ptérodactylus crassirostris*. Oolite de Pappenheim, près Solenhofen.

La célèbre pierre lithographique de Solenhofen, en Bavière, appartient à l'une des divisions supérieures de l'Oolite, et fournit un remarquable exemple de la variété des fossiles qui peuvent se conserver dans des circonstances favorables. On ne saurait imaginer avec quelle délicatesse sont rendues les parties les plus tendres et les plus fragiles des animaux et des plantes quand elles sont contenues dans un sédiment d'une grande finesse. Quoique le nombre des testacés et des plantes soit peu considérable dans ce schiste marin, M. Münster avait déjà déterminé 237 espèces lorsque je vis sa collection en 1833 : j'y remarquai 7 espèces de Ptérodactyle (fig. 353), 6 sauriens, 3 tortues, 60 espèces de poissons, 46 de crustacés et 26 d'insectes. Ces derniers, parmi lesquels est une Libellule, doivent avoir été emportés à la mer

par le vent, et provenaient du même sol que les Ptérodactyles et les reptiles cités plus haut.

OOLITE MOYENNE.

Coral Rag. — On a donné le nom de *Coral Rag* à l'un des calcaires de l'Oolite Moyenne, qui se compose spécialement d'une suite de lits de coraux pétrifiés conservant encore, pour la plupart, la position qu'ils avaient dans la mer à l'époque où ils se développaient. Ces coraux ont, par leurs formes, plus d'analogie avec les polypiers des récifs de l'océan Pacifique que ceux d'aucun autre membre de l'Oolite. Ils appartiennent généralement aux genres *Thecosmilia* (fig. 354), *Protoseris* et *Thamnastræa;* quelquefois ils fournissent des masses de 5 mètres d'épaisseur. Dans la figure 355, qui reproduit une *Thamnastræa* de cette formation, on

Coraux du Coral Rag.



FIG. 354. — *Thecosmilia annularis*, Milne Edw. et J. Haime. Coral Rag, Steeple Ashton.

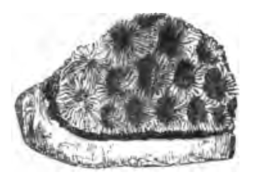


FIG. 355. — *Thamnastræa.* Coral Rag, Steeple Ashton.



FIG. 356. — *Ostræa gregarea.* Coral Rag, Steeple Ashton.

remarque que les cavités en forme de coupe deviennent de moins en moins profondes à mesure que l'on avance du côté droit vers le côté gauche, où elles sont presque nulles. De ce côté, le développement paraît achevé, tandis que de l'autre, il est encore incomplet. Ces couches de coraux s'étendent à travers les collines calcaires du N.-O. du Berkshire et du N.

du Wiltshire, pour se montrer de nouveau dans le Yorkshire près de Scarborough.

L'*Ostræa gregarea* (fig. 356) caractérise parfaitement cette formation en Angleterre et sur le continent.

Un des calcaires du Jura, contemporain du Coral Rag d'Angleterre, a été nommé par M. Thirria *Calcaire à Nérinées*. Les *Nérinées* constituent un genre éteint de coquilles univalves ressemblant beaucoup extérieurement au *Cerithium*.

La coupe (fig. 357) montre la forme curieuse de la partie creuse de chaque tour de spire ainsi que le canal qui occupe







FIG. 357. — *Nerinæa hieroglyphica.* Coral Rag.

FIG. 358. — *Nerinæa Goodhallii*, Fitton. Coral Rag, Weymouth ; demi-grandeur naturelle.

le milieu de la columelle. La *N. Goodhallii* (fig. 358) est une autre espèce anglaise du même genre ; elle provient d'une



FIG. 359. — Moule de *Diceras arietina.* Coral Rag, France.

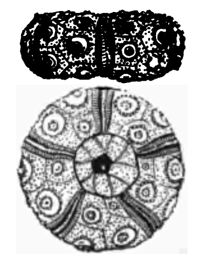


FIG. 360. — *Cidaris coronata.* Coral Rag.

formation qui paraît servir de passage entre l'argile de Kimmeridge et le Coral Rag (1).

(1) Fitton, *Geol. Trans.*, 2[e] série, vol. IV, pl. 23, fig. 12.

Une division de l'Oolite des Alpes, que plusieurs géologues ont considérée comme contemporaine du Coral Rag d'Angleterre, a été souvent désignée sous le nom de *Calcaire à Dicérates*, parce qu'elle contient une grande quantité de coquilles bivalves (voy. fig. 359) d'un genre allié aux *Chama*.

Argile d'Oxford. — Au-dessous du Coral Rag, et des sables appelés *grits calcaires*, de l'Oolite Moyenne qui l'accompagne, on rencontre une couche épaisse d'argile nommée *Argile d'Oxford*, et qui atteint parfois 150 mètres d'épaisseur. Elle présente, au lieu de coraux, une grande quantité de céphalopodes des genres Ammonite et Bélemnite (fig. 361, 362). Quand l'argile est très fine, les Ammonites



FIG. 361. — *Belemnites hastatus.* Oxford clay.

sont d'une conservation parfaite, quoique légèrement comprimées; de chaque côté de leur bouche part une sorte de prolongement en forme de corne (fig. 362). On en a découvert en 1841 dans les tranchées du chemin de fer du Great Western, près de Chippenham. M. Pratt en a fait la description (*Ann. Nat. Hist.*, novembre 1841).



FIG. 362. — *Ammonites Jason*, Reinecke. Syn., *A. Elizabethæ*, Pratt. Argile d'Oxford, Christian Malford, Wiltshire.

Mantell a observé de semblables prolongements dans des coquilles de Bélemnite de la même argile (fig. 363) ; il a pu jeter ainsi beaucoup de lumière sur la structure de ces singuliers céphalopodes (1).

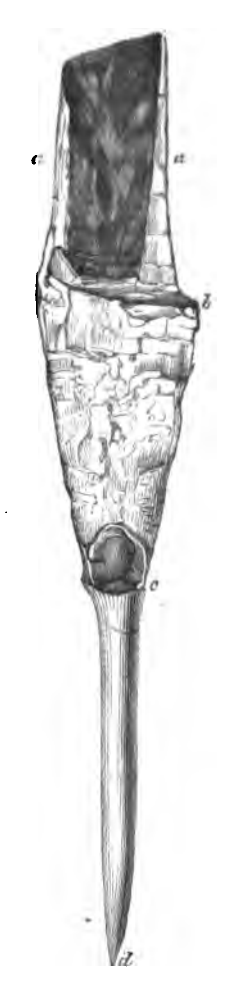


FIG. 363. — *Belemnites Puzosianus*, d'Orb.

Argile d'Oxford, Christian Malford.

a, a. Prolongement de la coquille, ou phragmocone. — *b, c.* Portion extérieure, brisée, d'une coquille conique appelée le Phragmocone, laquelle est cloisonnée à l'intérieur, c'est-à-dire composée de cellules basses, concaves, percées d'un siphon. — *e, d.* Partie communément nommée Bélemnite.

OOLITE INFÉRIEURE.

Cornbrash et Forest Marble. — La division supérieure de cette série, beaucoup plus étendue que l'Oolite Moyenne, est appelée en Angleterre *Cornbrash.* Elle consiste en argile et grès calcarifères, passant inférieurement au Forest Marble, sorte de calcaire argileux abondant en fossiles marins. Sur quelques points, comme à Bradford, ce calcaire est remplacé par une masse d'argile. Les grès du Forest Marble, dans le Wiltshire, sont souvent ondulés et remplis de fragments de coquilles et de tronçons de bois apportés par les eaux, ce qui indique une origine littorale. On emploie les pierres tuilières (*tile-stones*) pour couvrir les bâtiments ; elles sont séparées par de minces bandes d'argile qui ont pris leur forme et conservent une empreinte si parfaite des saillies et dépressions ondulatoires du sable, que l'on peut y distinguer encore la trace de pas de petits animaux, probablement de crabes. On y observe également des pinces de

(1) *Philos. Trans.*, 1850, p. 393.

crustacés, des fragments d'oursins, et d'autres vestiges qui attestent le voisinage d'une plage ancienne (1).

Grande Oolite. — Quoique le nom de Coral Rag ait été réservé à un membre de l'Oolite Supérieure, quelques portions de l'Oolite Inférieure méritent également le nom de Calcaire corallin. La Grande Oolite, par exemple, près de Bath, renferme différents coraux, parmi lesquels l'espèce remarquable, *Eunomia radiata* (fig. 364), forme des masses

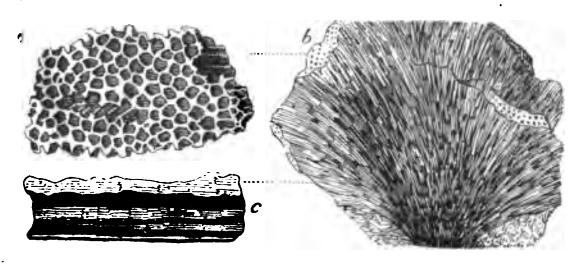


FIG. 364. — *Eunomia radiata*, Lamouroux (*Calamophyllia*, Milne Edw.)
a. Coupe en travers des tubes. — *b*. Coupe verticale, montrant le rayonnement des tubes — *c*. Portion d'intérieur d'un tube, grossie, montrant sa surface striée.

de plusieurs mètres de circonférence; ce développement a sans doute nécessité, comme pour les *Méandrines* des tropiques, une longue suite de siècles.

Différentes espèces de *Crinoïdes* sont aussi très communes dans ces mêmes roches, et comme les coraux, elles ont dû croître sur un fond solide, sans être dérangées, pendant bien des années (*e*, fig. 365). Ces fossiles sont presque toujours limités aux Calcaires.

On observe, cependant, une exception à Bradford près de Bath, où ils sont enfouis dans l'argile. En cet endroit, la surface solide supérieure de la Grande Oolite paraît avoir été couverte pendant un certain temps d'une épaisse forêt sous-marine composée de ces magnifiques zoophytes, et cet état dura jusqu'au moment où l'eau limpide et tranquille fut envahie par un courant chargé de boue qui renversa les Crinoïdes et brisa leurs tiges juste à fleur du sol. Les souches

(1) P. Scrope, *Geol. Proceed.*, mars 1831.

sont encore dans leur position originelle, mais les nombreuses articulations qui formaient autrefois la tige, les rameaux et le corps des zoophytes, ont été disséminées au hasard dans le dépôt argileux. Cette disposition est figurée dans la coupe *b* (voy. la figure 365), où les teintes plus foncées représentent

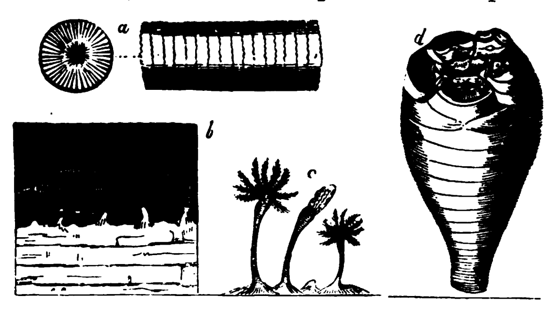


Fig. 365. — *Apiocrinites rotundus*, ou Encrine-poire; Miller. Fossile à Bradford, Wilts. *a*. Tige d'*Apiocrinites*, et l'une de ses articulations; grandeur naturelle. — *b*. Coupe de la Grande Oolite, à Bradford, et argile qui la surmonte, avec Encrines fossiles. Voyez le texte. — *c*. Trois individus complets d'*Apiocrinites* représentés dans leur mode de croissance sur la surface de la Grande Oolite. — *d*. Corps d'*Apiocrinites rotundus*.

l'argile de Bradford que quelques géologues classent avec le Forest Marble, et d'autres avec la Grande Oolite. La surface supérieure du calcaire est complétement incrustée d'une sorte de réseau continu formé par les racines pierreuses ou attaches

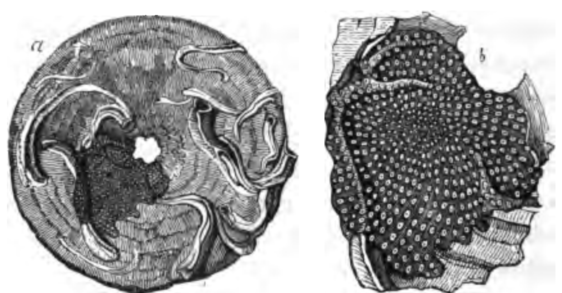


Fig. 366. — *a*. Plaque détachée, ou articulation d'Encrine, à laquelle se sont fixées des Serpules et des Bryozoaires; grandeur naturelle. Argile de Bradford.—*b*. Portion de la même, grossie pour montrer le bryozoaire *Berenicea diluviana* qui couvre l'une des *Serpules*.

des Crinoïdes ; mais, outre cette preuve du séjour prolongé des zoophytes sur le sol calcaire, on trouve un grand nombre d'articulations ou plaques circulaires de la tige et du corps de l'Encrine, séparées et recouvertes de Serpules. Ces incrus-

tations n'ont pu commencer à se développer qu'après la mort des Encrines dont les petites portions ont été disséminées dans l'Océan avant l'irruption de la boue argileuse. Quelquefois, on observe que les Serpules, après leur entier accroissement, ont été recouvertes à leur tour par un bryozoaire nommé *Berenicea diluviana*, et que plusieurs générations de ces mollusques se sont succédé dans l'eau pure avant de devenir fossiles.

De même que les pins et cycadées de l'ancien *lit de boue*, ou forêt fossile du Purbeck Supérieur, furent détruits par une submersion d'eau douce et bientôt ensevelis sous des sédiments boueux, de même on peut supposer qu'une invasion de la matière argileuse arrêta subitement la croissance des Encrines de Bradford, et contribua à leur conservation dans les couches marines (1).

Les zoologistes expliqueraient ces différences entre les fossiles des dépôts calcaires et ceux des dépôts argileux par des différences correspondantes dans la station des espèces; mais les variations qui existent entre les fossiles des séries Supérieure, Moyenne et Inférieure de l'Oolite, doivent être attribuées à cette grande loi des changements dans la vie organique, suivant laquelle des ensembles distincts d'espèces ont été, pendant la succession des époques géologiques, appropriés aux conditions variées de la surface habitable du sol. Il serait difficile de décider, pour chaque district en particulier, jusqu'à quel point la limitation des espèces à de certaines formations plus restreintes peut être attribuée à l'influence locale des stations, à la durée du temps ou à la loi de création et de destruction ; mais nous admettrons ce dernier genre d'influence si nous comparons la série Oolitique entière de l'Angleterre à celle de certaines parties du Jura, des Alpes et d'autres contrées éloignées, qui n'offrent guère de ressemblance lithologique; et pourtant quelques-uns des mêmes fossiles

(1) Pour plus de détails sur ces Encrines, voyez le *Bridgewater Treatise* de Buckland, vol. I, p. 429.

restent particuliers, dans chacun de ces pays, aux formations de l'Oolite Supérieure, Moyenne et Inférieure. M. Thurmann a remarqué combien le fait est vrai dans le Jura Bernois, bien que les divisions argileuses, si remarquables en Angleterre, y soient faiblement représentées, et que quelques-unes même fassent absolument défaut.

L'argile de Bradford a souvent 18 mètres d'épaisseur ; elle manque dans quelques endroits ; sur d'autres points où il n'y a pas de calcaire on la sépare difficilement des argiles qui viennent au-dessus (*Forest Marble*) aussi bien que de celles qui se trouvent au-dessous (*Terre à foulon*). La portion calcaire de la Grande Oolite consiste en diverses roches coquillières, dont l'une surtout, l'Oolite de Bath, est célèbre comme pierre de construction. Dans quelques cantons du Gloucestershire, et particulièrement près de Minchinhampton, la Grande Oolite, dit M. Lycett, doit s'être déposée dans une mer peu profonde où existaient de forts courants, car le caractère minéral du dépôt change souvent, et certaines couches montrent une fausse stratification. Sur d'autres points, on voit, parmi des amas de coquilles brisées, des galets étrangers aux roches du voisinage, avec fragments usés de madrépores, de bois dicotylédonés, et de pinces de crabes. Les couches coquillières



Fig. 367. — *Terebratula digona*, grandeur naturelle. Argile de Bradford.

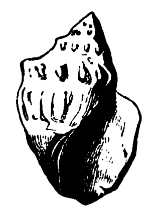


Fig. 368. — *Purpuroidæa nodulata* ; un quart de grandeur naturelle. — Grande Oolite, Minchinhampton.

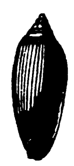


Fig. 369. — *Cylindrites acutus*, Sow. Syn., *Actæon acutus*. — Grande Oolite, Minchinhampton.

ont aussi parfois subi une dénudation, et l'argile a remplacé les portions détachées (1). Dans ces couches, on rencontre habituellement les coquilles des genres *Patella*, *Nerita*,

(1) Lycett, *Geol. Journ.*, vol. IV, p. 183.

Rimula, et *Cylindrites* (fig. 369 à 372), tandis que les céphalopodes y sont rares, et qu'au lieu d'Ammonites et de Bélemnites, on y voit de nombreuses variétés de Trachélipodes carnivores. Sur cent quarante-deux espèces d'univalves qu'il

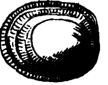



Fig. 370. — *Patella rugosa*, Sow. Grande Oolite.

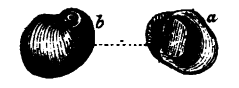


Fig. 371. — *Nerita costulata*, Desh. Grande Oolite.



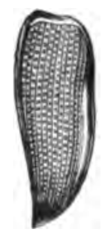
Fig. 372. — *Rimula* (*Emarginula*) *clathrata*, Sow. Grande Oolite.

a recueillies à Minchinhampton, M. Lycett en a compté jusqu'à quarante et une qui sont carnivores. Elles appartiennent principalement aux genres *Buccinum*, *Pleurotoma*, *Rostellaria*, *Murex*, *Purpuroidæa* (fig. 368) et *Fusus;* c'est un ensemble de mollusques zoophages qui ne diffère pas beaucoup de celui qu'on observe dans les mers chaudes actuelles. Ces résultats chronologiques sont d'autant plus curieux que, jusqu'à présent, on croyait à l'absence complète de Trachélipodes carnivores dans des roches aussi anciennes que la Grande Oolite. On admettait que ces mollusques n'avaient commencé à paraître en grand nombre qu'à l'époque des formations Éocènes, et quand deux grandes familles de céphalopodes, les Ammonites et les Bélemnites, eurent cessé d'exister.

Schiste de Stonesfield. — M. Lonsdale a démontré que le schiste de Stonesfield appartient à la base de la Grande Oolite (1). C'est un calcaire coquillier légèrement oolitique, qui forme de grandes masses sphéroïdales disséminées dans le sable, sur 1 mètre 80 centimètres seulement de puissance, mais riche en débris organiques. Il contient des galets roulés provenant d'une roche très analogue ; peut-être ces galets sont-ils tout simplement des parties du même dépôt qui auront été brisées sur le rivage aux basses eaux ou pendant les orages, et se seront ensuite stratifiées de nouveau. On

(1) *Proceed. Geol. Soc.*, vol. I, p. 414.

rencontre dans ce schiste des Bélemnites, des Trigonies et autres coquilles marines, ainsi que des fragments de bois et des empreintes de fougères, de cycadées et d'autres plantes. Divers débris d'insectes, par exemple des élytres, y sont parfaitement conservés (fig. 373) ; quelques-uns de ces insectes sont très voisins du genre *Buprestis* (1). On a découvert dans le même calcaire plusieurs sortes de reptiles, tels que *Plésiosaure*, *Crocodile* et *Ptérodactyle*.


Fig. 373. — Élytre de *Buprestis?* Stonesfield.

Les fossiles les plus remarquables sont des mammifères. Le lecteur se rappellera qu'avant la découverte du *Spalacotherium* des lits du Purbeck en 1854, on n'avait encore trouvé d'ossements de quadrupèdes terrestres ou de cétacés dans aucune des roches aussi anciennes que l'Éocène. D'un autre côté, nous avons vu que les plantes terrestres n'étaient pas rares dans la formation Crétacée Inférieure, et que, dans le Weald, il existait évidemment sur une grande échelle un sédiment d'eau douce renfermant différentes plantes et même d'anciens sols à végétaux. On rencontre aussi dans le Weald un grand nombre de reptiles terrestres et d'insectes ailés, ce qui rend plus frappante encore l'absence de tout quadrupède. Une autre circonstance non moins remarquable, c'est l'absence totale d'ossements de baleines, de veaux marins, de dauphins et d'autres mammifères aquatiques dans l'Oolite Supérieure et dans l'Oolite Moyenne. Il est vrai que l'on a cité jadis un os trouvé dans la Grande Oolite d'Enstone près de Woodstock, Oxfordshire, et que, d'après l'autorité de Cuvier, on rapportait aux Cétacés. Le docteur Buckland ayant eu la bonté de m'envoyer ce prétendu débris de baleine, M. Owen l'examina et fut d'avis qu'il n'appartenait pas à cette famille ; l'avant-bras chez ces mammifères marins est invariablement plus fort ; en outre, il est dépourvu de toutes dépressions et

(1) Buckland, *Bridgewater Treatise*, et Brodie, *Fossil Insects*. Ce dernier pense que les élytres peuvent appartenir au *Prionus*.

crêtes à insertions musculaires, tandis qu'on observe vers le milieu de l'os en question une saillie très proéminente (fig. 374). Or, comme chez les Sauriens ces aspérités existent pour l'attache des muscles, il est probable que cet os appartient à quelque animal de cet ordre.



FIG. 374. — Os de reptile, que l'on avait d'abord supposé être celui d'un Cétacé. Grande Oolite d'Enstone, près de Woodstock.

On comprend, dès lors, tout l'intérêt qui s'attache à la découverte dans le schiste de Stonesfield, de sept mâchoires inférieures de quadrupèdes mammifères, appartenant à trois espèces et à deux genres nommés *Amphitherium* et *Phascolotherium*. Lorsqu'en 1818, on fit voir à Cuvier l'un de ces ossements, il déclara qu'il provenait d'un petit mammifère pourvu d'une mâchoire semblable à celle de l'*Opossum*, et différant de tous ses congénères par le grand nombre de molaires, dont 10 au moins existaient à chaque rangée. Depuis, un échantillon plus parfait fut découvert par le docteur Buckland (fig. 375), et M. Owen put compter 12 molaires, un alvéole de petite canine et 3 petites incisives en place, en tout 16 dents sur chaque côté de la mâchoire inférieure.

Quant à la question de savoir si ces fossiles appartiennent à un mammifère, à un reptile ou à un poisson, l'ostéologiste observe que chacune des demi-mâchoires est composée d'une seule pièce, et non de deux ou trois os séparés comme dans les poissons et la plupart des reptiles, ou de deux os réunis par une suture comme dans quelques espèces de ces deux classes.

De plus, le condyle (*b*, fig. 375), ou surface articulaire, est

convexe dans les mâchoires de Stonesfield, et non pas concave comme dans les poissons et les reptiles. L'apophyse coronoïde (*a*, fig. 375) est très développée, tandis qu'elle est petite ou même manque totalement dans les classes infé-


Grandeur naturelle.



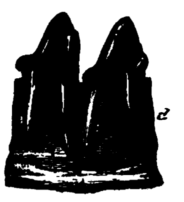


FIG. 375. — *Amphitherium Prevostii*, Cuv. Sp. Schiste de Stonesfield.
a. Apophyse coronoïde. — *b*. Condyle. — *c*. Angle de la mâchoire. — *d*, Molaire à double racine.

rieures des vertébrés. Enfin, les dents molaires, chez l'*Amphitherium* et le *Phascolotherium*, ont la couronne complexe et deux racines (*d*, fig. 375), au lieu d'être simple et d'avoir une racine unique (1). Il reste à décider si le mammifère fossile trouvé dans l'Oolite Inférieure du comté d'Oxford







FIG. 376. — *Amphitherium Broderipii*, Owen ; grandeur naturelle. Schiste de Stonesfield.

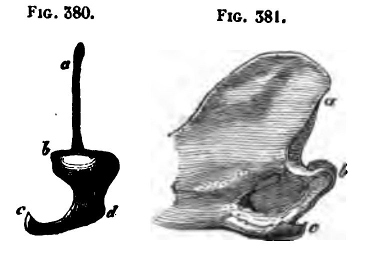
FIG. 377. — *Tupaia Tana* Branche droite de la mâchoire inférieure ; grandeur naturelle. Mammifère insectivore récent, de Sumatra.

doit être rapporté aux quadrupèdes marsupiaux ou bien à la série des placentaires ordinaires. Cuvier avait depuis longtemps fait remarquer dans la forme de l'apophyse angulaire (*c*, fig. 380 et 381) de la mâchoire inférieure une particularité qui caractérise le genre *Didelphys ;* M. Owen a établi depuis que ce caractère s'appliquait à la série entière des Marsupiaux. Chez tous ces quadrupèdes à poche, l'apophyse est dirigée en dedans, comme en *c*, *d*, de la figure 380, qui

(1) J'ai donné, dans les *Principes de Géol.*, chap. XI, la figure d'un autre fossile de Stonesfield, *Amphitherium Prevostii ;* les alvéoles et les racines des dents y sont représentés avec détail.

représente un *Opossum* du Brésil, tandis que dans la série des placentaires, comme en *e* (fig. 378, 379), cette inflexion est à peine marquée. La *Tupaia Tana* de Sumatra a été choisie comme exemple, parce que ce petit quadrupède insectivore

FIG. 378. FIG. 379. FIG. 380. FIG. 381.



Portion de mâchoire inférieure de la *Tupaia Tana ;* double de grandeur nat.

Fig. 378. L'extrémité vue de derrière, montrant la très légère courbure de l'angle en *c*.

Fig. 379. La même, vue de côté.

Portion de mâchoire inférieure du *Didelphys Azaræ*, récent, Brésil; grandeur naturelle.

Fig. 380. L'extrémité, vue de derrière, montrant la courbure de l'angle de la mâchoire, *c, d*.

Fig. 381. La même, vue de côté.

offre une grande ressemblance avec l'*Amphitherium* de Stonesfield. En dégageant de sa gangue l'échantillon d'*Amphitherium Prevostii* représenté ci-dessus (fig. 375), le professeur Owen s'est assuré que l'apophyse angulaire (*c*) se courbait moins en dedans que chez aucun des marsupiaux connus; l'inflexion n'est pas plus prononcée que chez une taupe ou chez un hérisson. Cette circonstance rapprocherait l'animal des insectivores à placenta. Néanmoins l'*Amphitherium*, dans son squelette, offre quelques points d'analogie avec les Marsupiaux, spécialement avec le *Myrmecobius*, petit quadrupède insectivore de l'Australie, qui a de chaque côté de la mâchoire inférieure neuf molaires, une canine, et trois incisives (1).

Une autre espèce d'*Amphitherium* (fig. 376) a été trouvée près de Stonesfield ; elle est plus grande que la précédente, représentée fig. 375.

Le second genre de mammifère (fig. 382) découvert dans

(1) On peut voir une figure de ce *Myrmecobius* récent dans les *Principes*, chap. XI.

les mêmes schistes a été nommé d'abord par M. Broderip *Didelphys Bucklandi;* puis, par M. Owen, *Phascolotherium.* Il offre une ressemblance frappante avec les Marsupiaux, par la forme générale de la mâchoire, et par l'étendue et la



Fig. 382. — *Phascolotherium Bucklandi*, Broderip, sp.
a. Grandeur naturelle — *b*. Molaire grossie.

position de son angle infléchi ; mais le nombre de ses prémolaires et molaires le rapproche tout à fait du genre vivant des Didelphes (1).

D'après l'ensemble des caractères ostéologiques, il y a tout lieu de présumer que l'*Amphitherium* et le *Phascolotherium* de Stonesfield représentent à la fois la classe des Monodelphes et des Didelphes ; s'il en est ainsi, nous avons un exemple éclatant de l'insuffisance des preuves purement négatives quand il s'agit d'établir d'une manière absolue la nonexistence de certaines classes d'animaux à des époques particulières du passé. Ce singulier fait, que l'on n'aurait encore trouvé que les mâchoires inférieures de sept individus sans rencontrer d'autres parties osseuses de leur squelette, montre à quel degré de démembrement nous sont parvenus les êtres de l'ancienne Faune terrestre.

Owen a remarqué que les genres de marsupiaux auxquels le *Phascolotherium* est allié de très près se trouvent aujourd'hui relégués dans la Nouvelle Galles et la Terre de Van Diémen ; c'est seulement dans les mers australiennes que l'on trouve le *Cestracion*, sélacien à palais osseux et présentant des affinités avec l'*Acrodus* (fig. 412) et le *Strophodus*, si communs dans l'Ooolite et le Lias. On rencontre, près des rivages, au sein des mêmes mers australiennes, des *Trigonies*, genre de mollusques fréquemment observé dans le schiste de

(1) Owen, *Brit. foss. Mammals*, p. 62.

Stonesfield. Les *Araucaria*, et les fougères aujourd'hui si nombreuses dans l'Australie et les îles voisines, abondaient également en Europe pendant la période Oolitique. On trouve dans les dépôts de cette période des Endogènes en parfait état de conservation. Tel est le *Podocarya* de Buckland (fig. 383), fruit qui se rapproche pour la forme de celui du *Pandanus*. Dans sa direction à partir de l'Oxfordshire vers le Nord-Est, le schiste de Stonesfield est représenté par des grès schistoïdes fissiles, à Collyweston dans le Northamptonshire par exemple, où suivant MM. Ibbetson et Morris (1), il contient une grande quantité de coquilles telles que la *Trigonia angulata*. Mais ces couches ont un caractère plus marin, ou paraissent s'être formées plus loin des terres. Elles renferment cependant quelques fougères fossiles, comme le *Pecopteris polypoïdes*, espèce commune à l'Oolite de la côte du Yorkshire, où les couches du même âge offrent l'aspect d'un véritable bassin houiller ; quelques minces filons de combustible ont même été exploités dans ce district pendant plus d'un siècle.



Fig. 383. — Portion de fruit fossile du *Podocarya*, grossie. (Buckland, *Bridgewater Treatise*, pl. 63.) Oolite Inférieure. Charmouth, Dorset.

Dans le Nord-Ouest de l'Yorkshire, la formation consiste en schistes carbonifères abondant en impressions de plantes, et séparés en deux séries par l'interposition d'un calcaire que plusieurs géologues considèrent comme représentant la Grande Oolite ; mais la rareté des fossiles marins rend extrêmement difficile toute comparaison avec les sous-divisions adoptées dans le Sud. Une riche récolte de Fougères fossiles a été obtenue des schistes et grès charbonneux supérieurs de Gristhorpe près de Scarborough (fig. 384 et 385). Les schistes inférieurs se reconnaissent parfaitement dans les falaises de Whitby, et sont spécialement caractérisés par des Fougères

(1) Ibbetson et Morris, *Rep. of Brit. Assoc.*, 1847, p. 131 ; et Morris, *Geol. Journ.*, IX, p. 334.

et des Cycadées. Ils contiennent aussi une espèce de Calamite et l'*Equisetum columnare* qui se trouve en position verticale dans les couches de grès sur une vaste étendue. Des

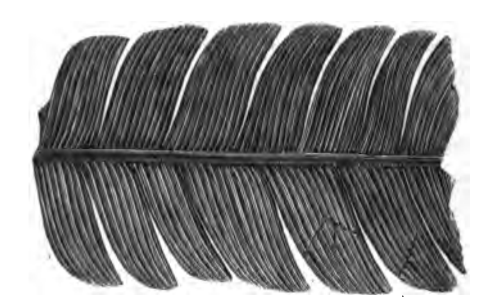


FIG. 384. — *Pterophyllum comptum.* Syn., *Cycadites comptus.* Grès et schiste supérieurs; Gristhorpe, près de Scarborough.

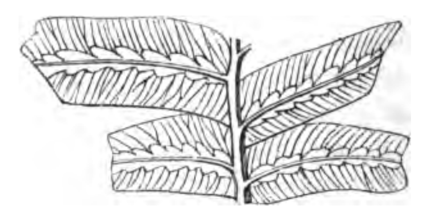


FIG. 385. — *Hemitelites Brownii*, Goepp. Syn., *Phlebopteris contigua*, Lind et Hutt. Couches charbonneuses supérieures; Oolite Inférieure, Gristhorpe, Yorkshire.

coquilles d'*Estheria* et d'*Unio*, extraites de ces lits par M. Reau, leur assignent une origine fluviatile.

A Brora, comté de Sutherland, une formation charbonneuse, probablement contemporaine de la précédente ou appartenant à quelqu'une des divisions inférieures de la période Oolitique, a été exploitée comme mine pendant plus d'un siècle. C'est la couche de matière végétale la plus épaisse que l'on ait encore rencontrée dans une roche secondaire de l'Angleterre. Une veine de charbon de bonne qualité s'y présente sur 1 mètre d'épaisseur, et il reste encore au-dessus du point exploité plusieurs mètres de houille pyriteuse.

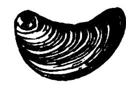


FIG. 386. — *Ostræa acuminata.* Fuller's Earth.

Terre à foulon (*Fuller's Earth*) (*h*, Tabl., p. 451). — Entre la Grande Oolite et l'Oolite Inférieure,

près de Bath, on trouve un dépôt argileux appelé *terre à foulon*, et qui manque absolument dans le Nord de l'Angleterre ; il abonde en petites huîtres (fig. 386).

Oolite Inférieure. — Cette formation consiste en calcaire pierre-de-taille, habituellement peu épais, gisant d'ordinaire sur des sables jaunes qui le remplacent quelquefois ; on nomme ceux-ci Sables de l'Oolite Inférieure. Ils reposent à leur tour sur le Lias, dans le Sud et à l'Ouest de l'Angleterre. Parmi les coquilles caractéristiques de l'Oolite Infé-

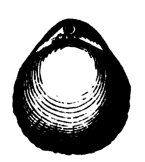


FIG. 387. — *Terebratula fimbria.* Oolite Inférieure.



FIG. 388. — *Rhynchonella spinosa.* Oolite Inférieure.

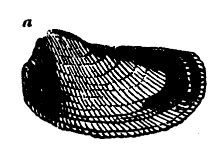




FIG. 389. — *a. Pholadomya fidicula* ; un tiers de grandeur naturelle. Oolite Inférieure. — *b.* Profil en forme de cœur.

rieure, je citerai les *Terebratula fimbria* (fig. 387), *Rhynchonella spinosa* (fig. 388), et *Pholadomya fidicula* (fig. 389). Le genre éteint des *Pleurotomaria* est commun dans cette division comme dans tout le système Oolitique en général. Par sa forme, ce genre ressemble au *Trochus*, mais il porte sur le côté droit de la bouche une fente profonde (*a*, fig. 390

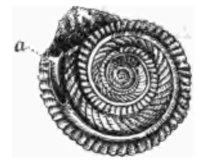


FIG. 390. — *Pleurotomaria granulata.* Oolite ferrugineuse, Normandie. Oolite Inférieure, Angleterre.



FIG. 391. — *Pleurotomaria ornata*, Sow. Sp. Oolite Inférieure.

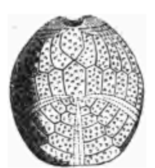


FIG. 392. — *Dysaster ringens.* Oolite Inférieure. Somersetshire.

et fig. 391). Le *Dysaster ringens* est un Échinoderme fréquent dans l'Oolite Inférieure d'Angleterre et de France, de même que les trois Ammonites dont nous donnons ici les figures (393, 394 et 395).

Comme coquilles répandues sur une longue série verticale, je mentionnerai la *Trigonia clavellata*, que l'on trouve dans

l'Oolite Supérieure et Inférieure, ainsi que l'*Ostræa Marshii* (fig. 396), commune au Cornbrash de Wilts et à l'Oolite Inférieure du Yorkshire ; enfin, l'*Ammonites striatulus* (fig. 397) qui appartient à l'Oolite Inférieure et au Lias.



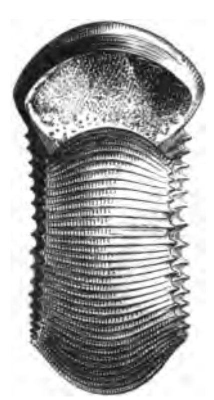


FIG. 393. — *Ammonites Humphriesianus.* Oolite Inférieure.

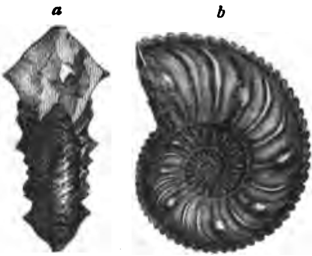


FIG. 394. — *Ammonites margaritus*, d'Orb. Syn., *A. Stokesii*, Sow. Lias.



FIG. 395. — *Ammonites Braikenridgii*, Sow. Grande Oolite, Scarborough. Oolite Inférieure, Dundry, Calvados, etc.

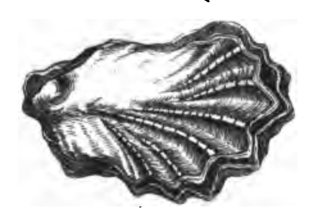


FIG. 396. — *Ostræa Marshii;* demi-grandeur naturelle. Oolite Moyenne et Inférieure.



FIG. 397. — *Ammonites striatulus*, Sow.; un tiers de grandeur naturelle. Oolite Inférieure et Lias.

Ces faits n'empêchent point qu'en règle générale, certains fossiles soient de bons caractères chronologiques des périodes

géologiques ; mais ils nous apprennent à ne point accorder trop d'importance à des espèces particulières qui offrent, les unes plus de développement suivant l'étendue, et les autres suivant la profondeur. Nous avons déjà vu que, dans la série des formations tertiaires, certaines espèces sont communes aux groupes anciens et nouveaux ; mais ces groupes se distinguent les uns des autres par la comparaison de l'ensemble des coquilles fossiles qui leur appartiennent.

FIN DU PREMIER VOLUME.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE I. — *Sur les différentes classes de Roches.*

Définition de la géologie. — Formation successive de la croûte terrestre. — Classification des roches suivant leur origine et suivant leur âge. — Roches aqueuses. — Roches volcaniques. — Roches plutoniques. — Roches métamorphiqûes. — Raison pour laquelle on a faussement appliqué l'épithète de *primitives* aux formations cristallines.

CHAPITRE II. — *Roches Aqueuses. — Leur composition et leurs formes de stratification.*

Composition minérale des couches. — Roches Arénacées. — Argileuses. — Calcaires. — Gypse. — Formes de stratification. — Disposition *diagonale*. — Ondulations.

CHAPITRE III. — *Distribution des fossiles dans les couches. — Fossiles d'eau douce et fossiles marins.*

Calcaires formés de coraux et de coquilles. — Preuves de l'augmentation graduelle des couches, tirées des fossiles. — Tripoli et résinite formés d'Infusoires. — Craie dérivée principalement de corps organiques. — Différence entre les formations d'eau douce et les formations marines. — Alternances des dépôts marins et d'eau douce.

CHAPITRE IV. — *Consolidation des couches et pétrification des fossiles.*

Dépôts chimiques et mécaniques. — Cimentation des particules. — Nodules concrétionnés. — Effets de la pression sur la consolidation. — Minéralisation des débris organiques. — Mode de formation des empreintes et des moules. — Bois fossiles. – Sources tenant en dissolution de la chaux et de la silice.

CHAPITRE V. — *Élévation des couches au-dessus de la mer. — Stratifications horizontale et inclinée.*

Position des couches marines : pourquoi l'a-t-on rapportée à l'exhaussement des terres et non à l'abaissement de la mer. — Exhaussement de couches horizontales. — Stratifications inclinée et verticale. — Lignes anticlinale et synclinale. — Théorie du plissement par des mouvements latéraux. — Affleurements. — Inclinaison et direction. — Structure du Jura. — Position renversée de couches dérangées de leur gisement premier. — Stratification discordante. — Fractures des couches. — Failles.

CHAPITRE VI. — *De la Dénudation.*

Définition de la dénudation. — La quantité de dénudation égale celle des dépôts qui composent la croûte terrestre. — Surface unie de certaines contrées dans lesquelles se rencontrent de grandes failles. — Pouvoir de dénudation de l'Océan. — Origine des vallées. — Oblitération des falaises du bord de la mer. — Falaises intérieures des terres, et terrasses.

CHAPITRE VII. — *Alluvium.*

Description de l'alluvium. — Il est dû à des causes complexes. — Alluvium de différents âges. — Comment le distinguer des roches en place. — Terrasses de rivières. — *Parallel-Roads* de Glen-Roy.

CHAPITRE VIII. — *Classification chronologique des Roches.*

Roches aqueuses, plutoniques, volcaniques et métamorphiques, considérées chronologiquement. — Division de ces roches, par Lehmann, en primitives et secondaires. — Classe de roches de transition ajoutée à cette division par Werner. — Théorie neptunienne. — Hutton, sur l'origine ignée du granit. — Pourquoi la dénomination de *primaire*, donnée au granit, et celle de *transition* sont-elles vicieuses? — Nomenclature chronologique adoptée dans cet ouvrage pour les périodes primaire, secondaire et tertiaire.

CHAPITRE IX. — *Ages divers des Roches Aqueuses.*

Sur les trois principaux caractères qui servent à déterminer l'âge relatif de ces roches, savoir : la superposition, le caractère minéralogique et les fossiles. — Changements du caractère minéralogique et des fossiles, dans la même formation. — Preuves de l'existence, aux époques successives, d'espèces distinctes d'animaux et de plantes. — Circonscriptions différentes d'espèces indigènes. — Des lois semblables ont prévalu aux époques géologiques successives. — Constatation de l'âge par les fragments renfermés dans la roche. — Absence fréquente de couches de périodes incidentes. — Tableau général des couches fossilifères.

CHAPITRE X. — *Classification des Formations Tertiaires. — Groupe Post-Pliocène.*

Principes généraux de classification des couches tertiaires. — Difficulté de déterminer la chronologie de ces couches. — Proportion croissante des espèces vivantes de coquilles dans les couches de plus en plus modernes. — Expressions de Éocène, Miocène et Pliocène. — Couches récentes Post-Pliocènes.

CHAPITRE XI. — *Période du Nouveau Pliocène. — Formation de transport.*

Terrain de transport de Scandinavie, du nord de l'Allemagne et de la Russie. — Roches en place, polies, sillonnées et striées. — Action des glaciers et des glaces flottantes. — Coquilles fossiles de la période glaciaire. — Terrain de transport du Norfolk oriental. — Glaciers anciens de la Galles du Nord. — Terrain de transport d'Irlande.

CHAPITRE XII. — *Terrain de Transport* (suite).

Influence d'un froid excessif sur l'augmentation de la quantité d'Alluvium. — Analogie entre les roches erratiques et rayées du nord de l'Amérique, de l'Europe et du Canada. — Pourquoi les débris organiques sont-ils si rares dans le transport du Nord? — Plusieurs coquilles et quelques quadrupèdes ont survécu au froid glaciaire. — Les Alpes ont été un centre indépendant de dispersion des blocs erratiques. — Météorite dans le transport asiatique.

CHAPITRE XIII. — *Couches du Nouveau Pliocène et Dépôts des Cavernes.*

Formations du Pleistocène. — Dépôts d'eau douce dans la vallée de la Tamise. — Dans les roches escarpées du Norfolk. — En Patagonie. — Longévité comparative des espèces, chez les mammifères et les testacés. — Crag de Norwich. — Couches du Nouveau Pliocène de Sicile. — Brèches Osseuses et dépôts des Cavernes. — Sicile. — Kirkdale. — Cavernes à brèches osseuses

d'Australie. — Rapports entre la répartition géographique des vertébrés vivants et celle des espèces pliocènes. — Dents de quadrupèdes fossiles.

CHAPITRE XIV. — *Formations du Pliocène Inférieur et du Miocène.*

Crag Rouge et à Coraux de Suffolk. — Fossiles et proportion des espèces récentes. — Profondeur de la mer, et climat. — Migration de plusieurs espèces de coquilles vers le sud, pendant la période glaciaire. — Crag d'Anvers. — Lits subapennins. — Formations miocènes. — Faluns de Touraine. — Profondeur de la mer et caractère littoral de la faune. — Climat. — Proportion des espèces récentes de coquilles. — Couches miocènes de Bordeaux, de Belgique et du nord de l'Allemagne. — Formations du Vieux Pliocène et du Miocène aux États-Unis. — Monts Sewâlik dans l'Inde.

CHAPITRE XV. — *Formation de l'Éocène supérieur* (Miocène Inférieur de plusieurs auteurs).

Remarques sur la classification et sur la ligne de séparation de l'Éocène et du Miocène. — Les couches du Limbourg, en Belgique, doivent-elles être rangées dans l'Éocène Supérieur? — Couches du même âge dans le nord de l'Allemagne. — Bassin de Mayence. — Lignite d'Allemagne. — Éocène Supérieur de l'île de Wight. — De France. — Couches lacustres d'Auvergne et du Cantal. — Éocène Supérieur de Bordeaux, etc. — De Nebraska, États-Unis.

CHAPITRE XVI. — *Formations Éocènes Moyenne et Inférieure.*

Couches Éocènes, Moyennes, d'Angleterre. — Séries fluvio-marines, dans l'île de Wight et dans le Hampshire. — Groupes successifs des Mammifères Éocènes. — Fossiles de l'argile de Barton. — Des lits de Bagshot et de Bracklesham. — Couches Éocènes, Inférieures, d'Angleterre. — Argile de Londres, proprement dite. — Couches de Kyson dans le Suffolk. — Singe et Opossum fossiles. — Argile Plastique et Sables. — Sables de Thanet. — Formations Éocènes, Moyenne et Inférieure, de France. — Formations Nummulitiques d'Europe et d'Asie. — Couches Éocènes à Claiborne, Alabama. — Cétacé colossal. — Calcaire à orbitoïdes. — Burr stone (pierre à moudre).

CHAPITRE XVII. — *Groupe Crétacé.*

Laps de temps qui s'est écoulé entre les périodes Crétacée et Éocène. — Formations d'âge intermédiaire en Belgique et en France. — Calcaire pisolitique. — Divisions des séries Crétacées dans le nord-ouest de l'Europe. — Lits de Maestricht. — Craie de Faxoe. — Craie blanche. — Jusqu'à quel point elle dérive de coquilles et coraux. — Silex de la Craie. — Fossiles des roches crétacées supérieures. — Grès Vert ou Gault Supérieur. — Craie du sud de l'Europe. — Calcaire à Hippurites. — Roches Crétacées des États-Unis.

CHAPITRE XVIII. — *Formations du Terrain Crétacé Inférieur et du Weald.*

Grès Vert Inférieur. — Dénomination de *Néocomien*. — Fossiles du Grès Vert Inférieur. — Formation Wealdienne. — Argile du Weald et Sables de Hastings. — Coquilles et poissons fossiles. — Rapports avec le type crétacé. — Flore des périodes Crétacée Inférieure et Wealdienne.

CHAPITRE XIX. — *Dénudation de la Craie et du Weald.*

Géographie physique de certains districts composés de couches Crétacées et Wealdiennes. — Escarpements de Craie le long de la Seine en Normandie. — Dénudation de la Craie et du Weald, dans les comtés de Surrey, de Kent et de

Sussex. — La craie était autrefois continue des Downs du Nord aux Downs du Sud. — Exhaussement et dénudation graduels des couches. — A quelle période la vallée du Weald a-t-elle été dénudée, et par quelles causes? — Lit à Éléphants, Brighton. — Rocher de Sangatte. — Conclusion.

CHAPITRE XX. — *Groupe jurassique. — Lits du Purbeck et Oolite.*

Les lits du Purbeck ou membre de l'Oolite supérieure. — Nouveau Mammifère fossile. — Lit de boue (*dirt-bed*). — Fossiles des lits du Purbeck. — Pierre de Portland et ses fossiles. — Oolite moyenne. — Coral-Rag. — Zoophytes. — Calcaire à Nérinées. — Calcaire à Dicéras. — Oxford Clay, Ammonites et Bélemnites de ce terrain. — Oolite Inférieure, Crinoïdes. — Grande Oolite. — Schiste de Stonesfield. — Mammifères fossiles. — Bassin Houiller de l'Oolite du Yorshire. — Houille de Brora. — Terre à Foulon. — Oolite inférieure et ses fossiles.

CHAPITRE XXI. — *Groupe Jurassique* (suite). — *Lias.*

Caractère minéralogique du Lias. — Coquilles et poissons fossiles. — Rayonnés. — Ichthyodorulites. — Reptiles. — Ichthyosaure et Plésiosaure. — Lits fluvio-marins dans le Gloucestershire, et calcaire à Insectes. — Plantes fossiles. — Origine de l'Oolite et du Lias. — Bassin houiller, oolitique, de Virginie.

CHAPITRE XXII. — *Groupe du Trias, ou Nouveau Grès Rouge.*

Distinction entre le Nouveau et le Vieux Grès Rouge. — Le Trias et ses trois divisions en Allemagne. — Le Keuper et ses fossiles. — Le Muschelkalk et ses fossiles. — Plantes fossiles du Bunter. — Groupe Triasique en Angleterre. — Empreintes de pas du *Cheirotherium*. — Ostéologie du *Labyrinthodon*. — Mammifère Triasique. — Origine du Grès Rouge, et Sel Gemme. — Nouveau Grès Rouge aux États-Unis. — Empreintes fossiles de pas d'oiseaux et de reptiles, dans la vallée du Connecticut.

CHAPITRE XXIII. — *Groupe Permien, ou Calcaire Magnésien.*

Fossiles du Calcaire Magnésien. — Dénomination de *Permien*. — Équivalents de ce terrain en Angleterre et en Allemagne. — Coquilles marines et coraux. Palæoniscus et autre poisson. — Sauriens Thécodontes. — Flore Permienne. — Ses affinités génériques avec celle du terrain Carbonifère. — Psaronites, ou fougères arborescentes.

CHAPITRE XXIV. — *La Houille, ou Groupe Carbonifère.*

Couches carbonifères en Angleterre. — Lits de houille et Calcaire de Montagne. — Séries carbonifères en Irlande et dans la Galles du Sud. — Argiles sous-jacentes, avec Stigmaria. — Flore Carbonifère. — Fougères, Lepidodendrons, Calamites, Sigillariées, Conifères, Sternbergia, Trigonocarpon. — Du rang qu'occupent les Conifères dans le règne végétal. — Absence d'Angiospermes. — Houille, son mode de formation. — Arbres fossiles, en position verticale. — Empreintes de gouttes de pluie. — Explication de la pureté de la Houille. — Temps qui a dû s'écouler pour son accumulation. — Crustacés et Insectes.

CHAPITRE XXV. — *Groupe Carbonifère* (suite).

Bassins Houillers des États-Unis. — Coupe de la contrée entre l'Atlantique et le Mississipi. — Réunion de plusieurs feuillets de houille en un seul lit épais. Vaste extension et continuité de simples filets de houille. — Ancien lit de rivière dans la forêt du bassin houiller de Dean. — Climat de la période Carbonifère. — Insectes dans la houille. — Grand nombre de poissons fossiles.

— Première découverte de reptiles fossiles. — *Id.* de coquilles terrestres, dans la Houille. — Rareté des animaux à respiration aérienne, Vertébrés ou Invertébrés, dans les lits de houille. — Calcaire de montagne. — Ses coraux et ses coquilles marines.

CHAPITRE XXVI. — *Groupe du Vieux Grès Rouge ou Devonien.*

Vieux Grès Rouge de la ceinture des Galles, en Écosse et dans le sud de l'Irlande. Reptile fossile d'Elgin. — Végétaux fossiles, Devoniens, à Kilkenny. — Ichthyolites de Clashbinnie. — Poisson fosile, etc., Crustacés, de Caithness et du Forfarshire. — Type particulier de Vieux Grès Rouge, sous le rapport lithologique, dans le Devon et le Cornouailles. — Dénomination de *Devonien*. — Séries Devoniennes de l'Angleterre et du continent. — Vieux Grès Rouge de Russie. — Couches Devoniennes des États-Unis.

CHAPITRE XXVII. — *Groupes Silurien et Cambrien.*

Couches siluriennes, d'abord désignées sous le nom de couches de *Transition*. — Sous-divisions. — Formation du Ludlow et ses fossiles. — Lit à ossements, de Ludlow, et débris les plus anciens connus de poissons fossiles. — Formation de Wenlock, coraux, Cistidées, Trilobites. — Grès de Caradoc. — Pentamères et Tentaculites. — Roches siluriennes inférieures. — Ardoises de Llandeilo. — Cystidées. — Trilobites. — Graptolites. — Vaste épaisseur des couches siluriennes inférieures dans les Galles. — Équivalents siluriens étrangers, en Europe. — Grès grossier (*grit*) à Ongulites de Russie. — Couches Siluriennes des États-Unis. — Équivalents, au Canada. — Les couches Siluriennes ont été formées en haute mer. — Roches fossilifères inférieures aux lits de Llandeilo. — Groupe Cambrien. — Ardoises à Lingules. — Cambrien Inférieur. — Débris fossiles les plus anciens connus. — *Groupe primordial* de Bohême. — Métamorphoses des Trilobites. — Schistes alunifères de Suède et de Norwége. — Grès de Potsdam aux États-Unis et au Canada. — Trilobites du Mississipi supérieur. — Période supposée d'animaux invertébrés. — Absence de poissons dans le Silurien Inférieur. — Découvertes progressives de vertébrés dans des roches plus anciennes. — La doctrine de la non-existence de vertébrés dans les périodes fossilifères les plus anciennes est prématurée.

CHAPITRE XXVIII. — *Roches Volcaniques.*

Roches trappéennes. — Origine du mot *trapp*. — Doutes qui ont existé, dans le principe, sur la formation par voie ignée de ces roches. — Leur facies et leurs caractères généraux. — Leur composition minérale et leur texture. — Des diverses variétés de feldspath. — Hornblende et augite. — Isomorphisme. — Roches. — Manière de les étudier. — Basalte, trachyte, greenstone, porphyre, scories amygdaloïdes, lave, tuf. — Agglomérats. — Latérite. — Liste alphabétique et explication des noms et synonymes des roches volcaniques. — Tableau des analyses des minéraux les plus abondants dans les roches volcaniques et hypogènes.

CHAPITRE XXIX. — *Suite des Roches Volcaniques.*

Dikes trappéens. — Couches altérées à leur contact ou dans leur voisinage. — Conversion de la craie en marbre. — Interposition du trapp dans les couches. — Structures colonnaire et globulaire. — Rapport des roches trappéennes avec les produits des volcans en activité. — Forme, structure extérieure et origine des montagnes volcaniques. — Cratères et Calderas. — Iles Sandwich. — Laves coulant sur le sol. — Cônes tronqués. — Calderas de Java — Iles Canaries. — Structure et origine de la Caldera de Palma. — Conglomérat

aqueux, à Palma. — Considérations sur l'hypothèse des soulèvements. — Pentes sur lesquelles peut s'arrêter la lave. — Ile de Saint-Paul, dans l'Océan Indien. — Pic de Ténériffe et ruines de l'ancien cône. — Madère. — Ses roches volcaniques; elles ont été formées en partie sous la mer et en partie à l'air. — Axe central des éruptions. — Plongement variable des laves solides près de l'axe, et de plus en plus loin de celui-ci. — Lit composé de feuilles et de plantes terrestres fossiles. — Formation des vallées centrales de Madère.

CHAPITRE XXX. — *Sur les différents âges des Roches Volcaniques.*

Caractères pour établir l'âge des roches volcaniques. — Caractère de la superposition et de l'intrusion. — Caractère de l'altération des roches au contact. — Caractère des débris organiques. — Caractère de la composition minérale. — Caractère des fragments renfermés dans la roche. — Roches volcaniques de la période Post-Pliocène. — Basalte de la baie de Trezza en Sicile. — Roches volcaniques Post-Pliocènes, près de Naples. — Dikes de la Somma. — Formations ignées de la période du Nouveau-Pliocène. — Val di Noto, en Sicile.

CHAPITRE XXXI. — *Sur les différents âges des Roches Volcaniques* (suite).

Roches volcaniques de la période du Vieux-Pliocène. — Toscane. — Rome. — Région volcanique d'Olot, en Catalogne. — Cônes et courants de lave. — Période Miocène. — Lignite de l'Eifel et roches trachytiques contemporaines. Age du lignite. — Caractères particuliers des volcans de l'Eifel Supérieur et Inférieur. — Cratères lacustres. — Trass. — Volcans de Hongrie.

CHAPITRE XXXII. — *Sur les différents âges des Roches Volcaniques* (suite.)

Roches volcaniques des périodes Pliocène et Miocène (suite). — Auvergne. — Mont Dore. — Brèches et alluvions du mont Perrier, avec ossements de quadrupèdes. — Mont Dôme. — Les cônes n'ont pas été dénudés par une inondation générale. — Velay. — Ossements de quadrupèdes ensevelis dans les scories. — Cantal. — Roches volcaniques Éocènes. — Tuf près de Clermont. — Colline de Gergovia. — Trapp de la période Crétacée. — Période Oolitique. — Période du Nouveau Grès Rouge. — Période Carbonifère. — Période du Vieux Grès Rouge. — Période Silurienne. — Roches volcaniques Cambriennes.

CHAPITRE XXXIII. — *Roches Plutoniques. — Granit.*

Facies général du granit. — Analogies et différences des formations volcanique et plutonique. — Minéraux dans le granit. — Pénétration mutuelle de cristaux de quartz et de feldspath. — Granits syénitique, talqueux et schorleux. — Eurite. — Passage du granit au trapp. — Veines de granit du Glen Tilt et de divers autres pays. — Composition des veines de granit. — Veines métallifères observées dans les couches près de leur point de jonction avec le granit. — Veines de quartz. — Les roches plutoniques sont-elles toujours sus-jacentes? — Leur exposition à la surface est due à la dénudation.

CHAPITRE XXXIV. — *Des différents âges des Roches Plutoniques.*

Difficulté de déterminer l'âge d'une roche plutonique. — Manière de le reconnaître par la position relative, par la pénétration et l'altération, par la composition minéralogique, par les fragments inclus. — Causes de l'invisibilité des roches plutoniques récentes et Pliocènes. — Roches plutoniques tertiaires dans les Andes. — Roches crétacées altérées par le granit. — Modification du Lias par le granit. — Altérations de couches Carbonifères par le granit.

— Granit de la période du Vieux Grès Rouge. — Couches siluriennes altérées par la syénite, en Norwége. — Roches plutoniques les plus anciennes. — Sortie du granit à l'état solide. — Age des granits d'Arran, en Écosse.

Chapitre XXXV. — *Roches Métamorphiques.*

Caractère général des roches métamorphiques. — Gneiss. — Schiste amphibolique. — Micaschiste. — Schiste argileux. — Quartzite. — Chlorito-schiste. — Calcaire métamorphique. — Liste alphabétique et explicative des roches les plus abondantes de cette famille. — Origine des couches métamorphiques. — Leur stratification. — Couches fossilifères, dans le voisinage des masses d'intrusion de granit, converties en différents genres de roches métamorphiques. — Observations sur les objections que l'on peut faire à la théorie du métamorphisme. — Conversion partielle d'un schiste Éocène en gneiss.

Chapitre XXXVI. — *Roches Métamorphiques* (suite).

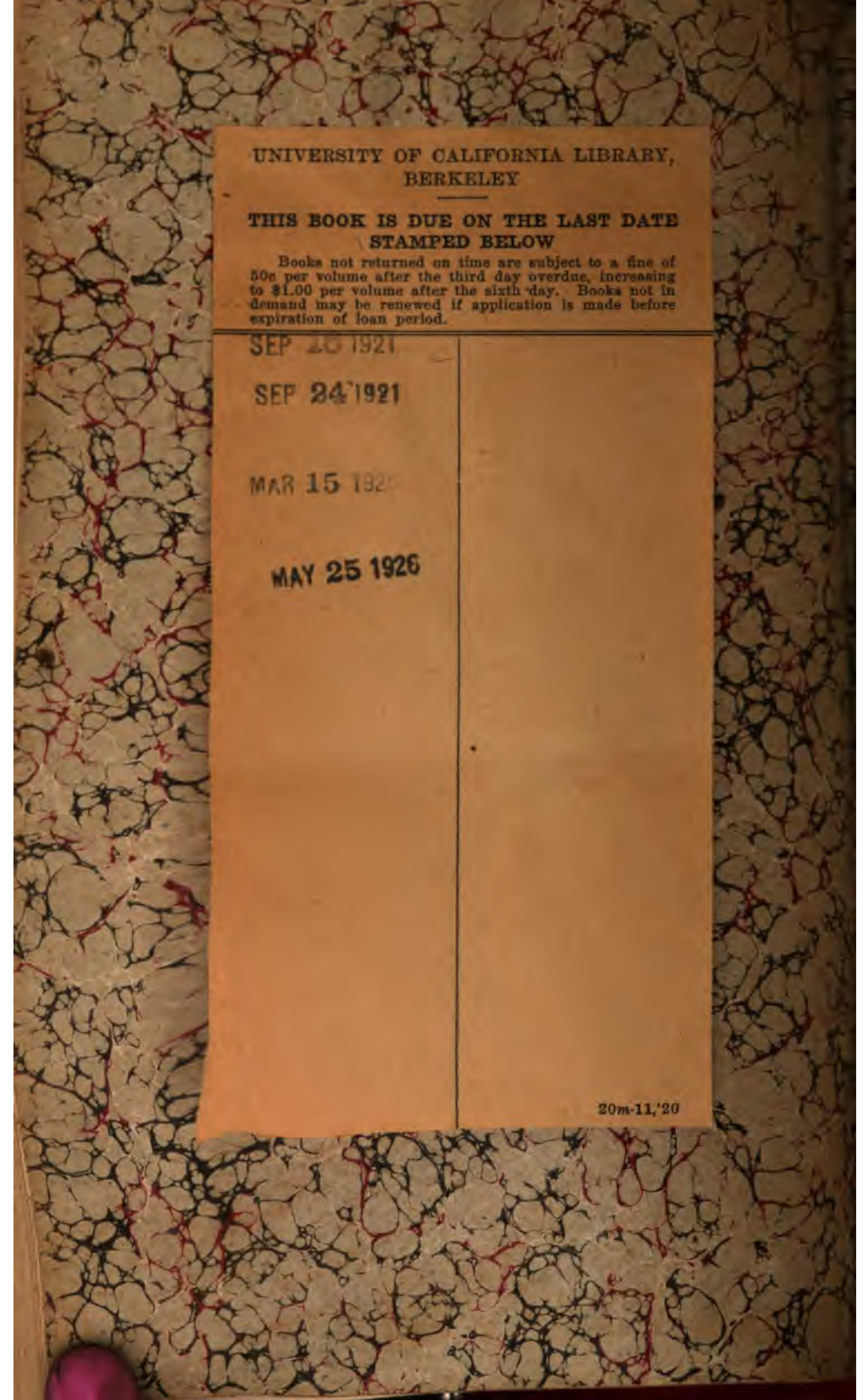
Origine des roches métamorphiques (suite). — Définition des joints, clivage schisteux et feuilletage. — Causes de ces différents genres de structure. — Théorie mécanique du clivage. — Combinaison supposée des forces cristalline et mécanique. — Structure de quelques roches volcaniques, due au mouvement. — Les feuillets des schistes cristallins sont-ils habituellement parallèles aux plans primitifs de stratification?

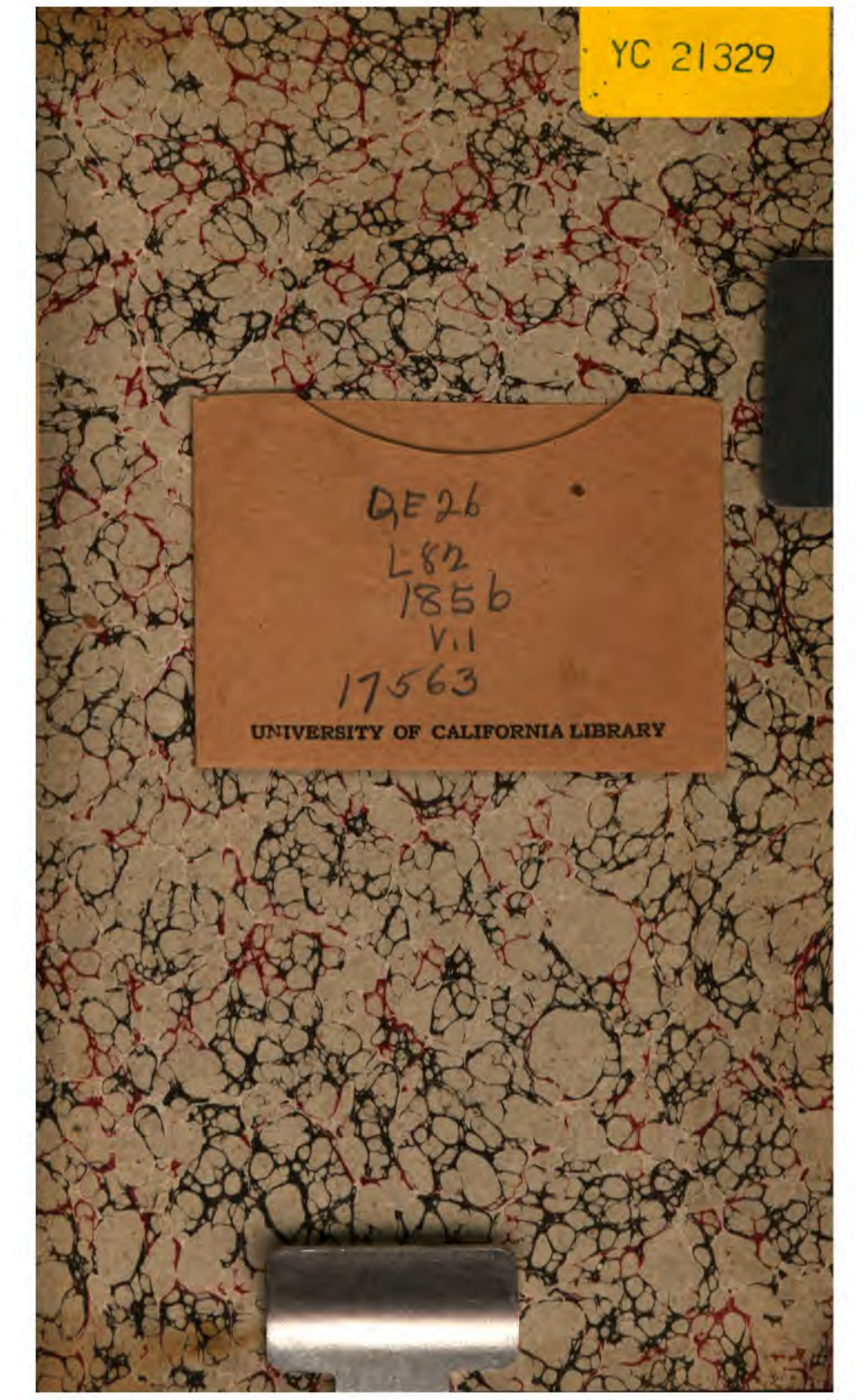
Chapitre XXXVII. — *Sur les différents âges des Roches Métamorphiques.*

Deux sortes d'âge des roches métamorphiques. — Nullité des fossiles et du caractère minéralogique comme moyen de connaître l'âge. — Ambiguïté du caractère de la superposition. — Transformation de couches fossilifères en roches métamorphiques. — Calcaire et schiste argileux de Carrare. — Couches métamorphiques plus anciennes que les roches Cambriennes. — D'autres appartiennent au Silurien Inférieur. — D'autres, aux périodes Jurassique et Éocène. — Pourquoi les couches cristallines visibles sont-elles très rarement modernes? — Ordre de succession des roches métamorphiques. — Uniformité de leur caractère minéralogique. — Raison pour laquelle les couches métamorphiques sont moins calcaires que les couches fossilifères.

Chapitre XXXVIII. — *Veines minérales.*

Doctrine de Werner : que les veines ont été des fissures remplies par en haut. — Veines de ségrégation. — Veines métallifères ordinaires ou filons. — Leur coïncidence fréquente avec les failles. — Preuves qu'elles ont pris naissance dans des fissures de roches solides. — Veines croisant d'autres veines. — Poli de leurs parois ou *surfaces de glissement*. — Coquilles et cailloux roulés, dans les filons. — Évidence de l'élargissement successif et de la réouverture des veines. — Pourquoi certaines veines présentent-elles des renflements et rétrécissements successifs? — Remplissage des filons par sublimation de matières arrivant d'en bas. — Actions chimique et électrique. — Ages relatifs des métaux précieux. — Veines de cuivre et de plomb en Irlande, plus anciennes que l'étain du Cornouailles. — Veines de plomb dans le Lias, Glamorganshire. — Or en Russie, en Californie, en Australie. — Connexion entre les sources thermales et les veines minérales. — Conclusion.


UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY,
BERKELEY
THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE STAMPED BELOW
Books not returned on time are subject to a fine of 50c per volume after the third day overdue, increasing to $1.00 per volume after the sixth day. Books not in demand may be renewed if application is made before expiration of loan period.
SEP 24 1921
MAR 15
MAY 25 1926
20m-11,'20


YC 21329
QE26
L82
1856
V.1
17563
UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY

